（昭和 34 年 11 月造船協会秋季講演会において講演）

船体縦通材の有効性に関する研究
（第3報　縦通隔壁）

正員　田　代　新　吉*

On the Effectiveness of the Longitudinal Members of Ships
(Report No. 3　Longitudinal Bulkhead)

By Shinkichi Tashiro, *Member*

Abstract

In this third report, the method of theoretical analysis to the box-shaped girder after the model ~~of~~ tankers is presented, in order to analyse the effectiveness of the longitudinal bulkhead mainly, using the plane stress system deduced in the previous reports.

As one of the example, the result calculated to D. W. 65,000 t type supertanker is added.

I.　緒　　言

船体は主として矩形平板を立体的に組み立てることにより構成されていると考えるこるができるが，このように構成された船体の強度を解析するに当つて，矩形平板に対する平面応力場理論を用いて調べることができる。本報告においては，このような考えのもとに，船体構造の1つの例として，油槽船の縦通隔壁が船体構造の一部としていかなる働きをしているかを解析するために箱形構造模型をとり，これについて第1報および第2報で誘導した矩形平板における応力系を用い，理論的解析を行なつたのでそれについて報告する。さらに，その計算例として $D \cdot W$ 65,000 t Type の超大型油槽船について調べた結果を示した。

以下に述べる解析において，基礎となる仮定を述べると，構造は前後，左右上下に対して対称であること，荷重についても前後，左右に対してそれぞれ対称であると考える。この外に，解析を進めるに当つて随所に適宜仮定を設けてあるが，それらについてはその都度述べることとする。

なお，今回は縦通隔壁1枚の場合について述べる。

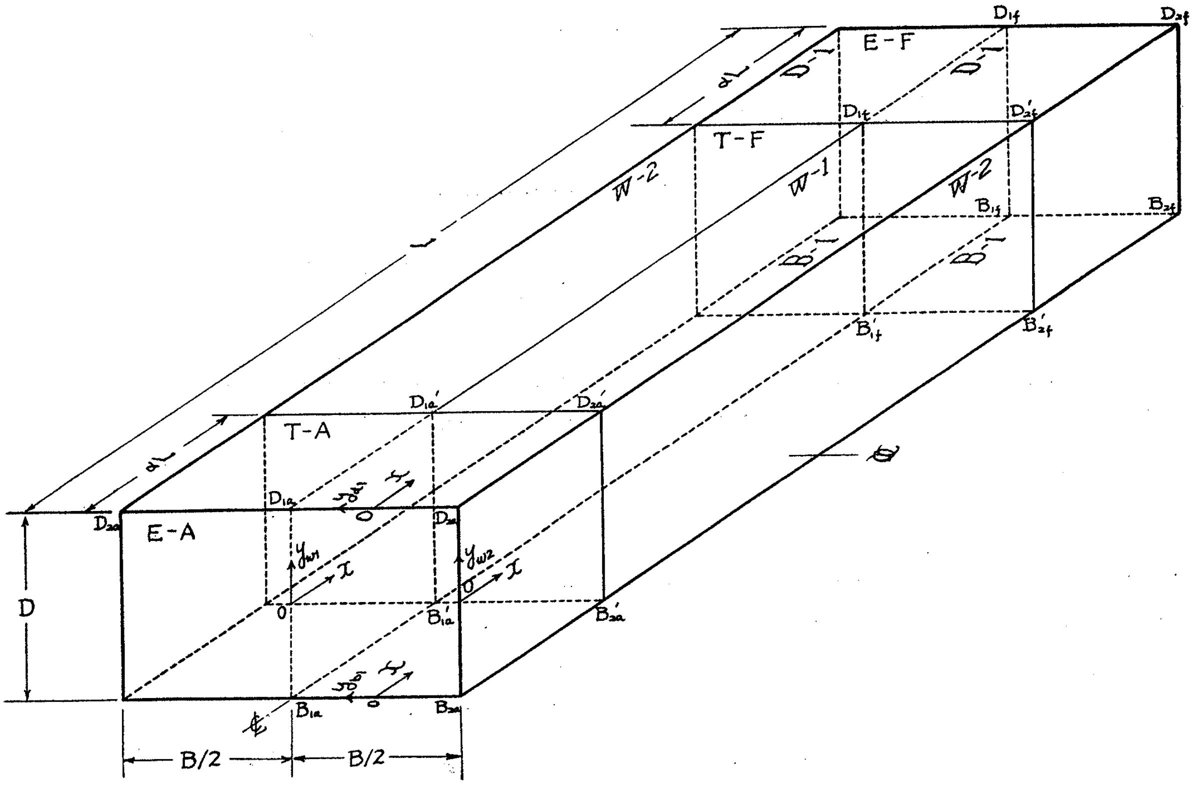
II.　箱型構造模型

船体構造として，第1図に示すように，その長さ L，幅 B，深さ D の箱型構造とする。その船体中心線面において，$(1-2\alpha)L$ 米の範囲に図のように中心線隔壁を考える。縦通隔壁の両端部にはそれぞれ横置隔壁がある。実際の船体においては，これら横置隔壁の間にさらに数条ないし十数条の横置隔壁が存在するが，それらの強度的な寄与は後述するように考えることとし，構造的には縦通隔壁はその両端の横置隔壁間において1枚の弾性矩形板としての取扱いが可能であるものとする。ただし，構造および荷重は左右弦対称と考えたから，今後特に断わらぬ限り右弦について考える。

さて，このような構造物を構成する各パネルに図のような符号を付すこととする。これらのパネルのうち，縦通パネル W-1, W-2, D-1 および B-1 の座標について考える。x 軸はいずれも原点を船尾にとり，その正の向きを船首方向にとるものとし，x 座標は各縦通パネルについて共通に x を以て表わす。パネル W-1 および W-2 における y 軸は，深さ D の中央に原点をとり，正の向きを上方にとる。パネル B-1 および D-1 における y 軸は，その幅 $B/2$ の中央に原点をとり，その正の向きを船体中心線面の側にとるものとする。y 座標はこれら縦通パネルの符号を suffix として附し，y_{w1} 等のように表わす。また，これら各パネルにおいて，そ

原稿受付　昭和 34 年7月 10 日

*　日本海事協会技術研究所



第1図　船体構造模型

の応力および板厚についても同様に $X_{x,w1}$, t_{w1} 等のように表わす。後述するように，応力成分を Fourier 級数に展開して示す場合は，$X_{x,w1}=\sum p_{w1,n}\sin\frac{n\pi x}{L}$ 等のように表わす。なお，縦通防撓材を含めた所謂ナラシ板厚は t_{w1}' 等のように dash を肩附して用い，板のみの板厚 t_{w1} 等と区別することとする。

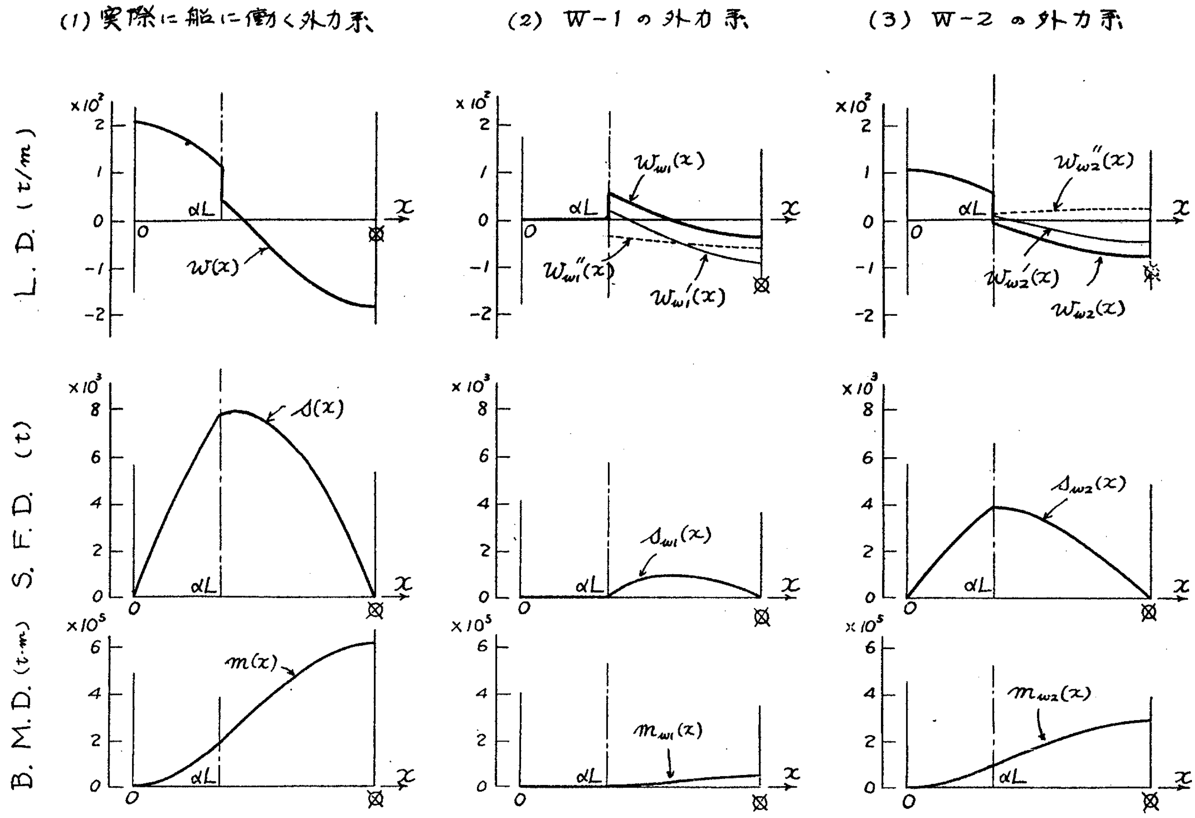
III.　外　　　力

III-1　荷重，剪断力および曲げモーメント

III-1-1　縦通隔壁端が自由の場合：　船体には，その長さ方向に船体自身，燃料，清水および積荷等の諸重量が下向きの力として分布し，同時に全体としてこれと平衡する大いさの浮力が上向きの力として分布している。いま，第1図に示した箱船について考えることとし，これらの力の差すなわち荷重の船長方向の分布を $w(x)$ とする。第2図第1の欄に示すように，$w(x)$ の1次積分 $s(x)$ および2次積分 $m(x)$ がそれぞれ剪断力および曲げモーメントである。荷重，剪断力および曲げモーメントは第3図のような方向を正とする。また，第2図には船体後半部のみの分布を示した。これが船体の縦強度を調べる場合に普通に考えられている外力の system である。この外力が船体の縦強力材にどのように伝達されるかについては考察が行なわれている(1)。燃料，積荷等の諸重量物や浮力は，まず船底外板や甲板の面に垂直に作用し，これがこれを支える小骨に伝達される。構造が transverse system のときは，この小骨すなわち横肋骨に伝えられた力は船体梁の web に相当する縦通隔壁や船側外板に直接伝達される。横置隔壁が接合している近傍の船底外板や甲板に作用する力は，この横置隔壁を介して船体梁の web に伝達される。構造が longitudinal system のときは，その縦肋骨に伝達された力は，それを支える web frame や横置隔壁を介して船体梁の web に伝達される。すなわち，船の縦強度を考える場合は船体に作用する外力は，その船体梁の web の部分に集約して作用すると考えることができる。

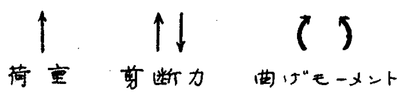
いま，外力は船の横方向に一様であるものとして考慮している箱船の web W-1 および W-2 に作用する荷重を次のように考える。すなわち，各 web は相隣る2つの web の間に狭まれた部分の荷重を均等に受け持つとする。したがつて，船の長さ方向の縦通隔壁 W-1 の存在する部分 $\alpha L\leqq x\leqq(1-\alpha)L$ においては，第2

(1)　G. Vedeler ; The Distribution of Load in Longitudinal Strength Calculations, T. I. N. A. Vol. 89, 1947

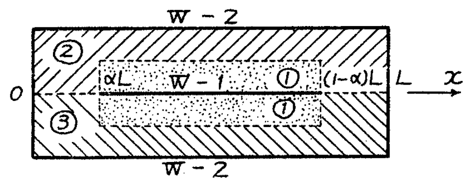


第２図　船体に働く外力系（縦通隔壁端が自由の場合）

図第１欄の荷重分布に示された荷重の 1/2 が集約して web W-1 に作用し，同様にして，その 1/4 が集約して W-2 に作用すると考えることができる。縦通隔壁 W-1 の存在しない部分 $0 \leqq x < \alpha L$ および $(1-\alpha)L < x \leqq L$ においては，該荷重の 1/2 が集約して左右弦の web W-2 のみに作用すると考えることができる。これを第４図に示す船の plan について考えると，① の部分に働く荷重がパネル W-1 に，② の部分に働く



第３図　荷重，剪断力およびモーメントの正方向



第４図　荷 重 の 配 分

荷重が左弦の W-2 に，同様に③の部分が右弦の W-2 に集約して作用すると考えることを意味する。これらを第２図の第２および第３欄の load diagram に細い実線で示した。これらを量的にそれぞれ $w_{w1}'(x)$, $w_{w2}'(x)$ と表わし，Fourier 表示を用いて

$$w_{w1}'(x) = -\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty} w_{w1}'{}_{,n} \sin\frac{n\pi x}{L} \quad (3\cdot1), \qquad w_{w2}'(x) = -\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty} w_{w2}'{}_{n} \sin\frac{n\pi x}{L} \quad (3\cdot2)$$

とおくと，実際に船に働く荷重 $w(x)$ は，

$$w(x) = w_{w1}'(x) + 2w_{w2}'(x) = -\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty} (w_{w1,}'{}_{n} + 2w_{w2,}'{}_{n}) \sin\frac{n\pi x}{L} \quad (3\cdot3)$$

で表わされる。船に作用する荷重をこのように表わすと，剪断力 $s(x)$ は

$$s(x) = \int_0^x w(\xi)d\xi = \sum_{n=1,3\cdots}^{\infty} (w_{w1,}'{}_{n} + 2w_{w2,}'{}_{n}) \frac{L}{n\pi}\left(\cos\frac{n\pi x}{L} - 1\right)$$

となる。しかるに，船が平衡するための第１の条件として $x=0$ および L において $s(x)=0$ とならねばならぬかから，上式から

$$\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1}{}'{}_{,n}+2w_{w2,}{}'{}_{n})\frac{L}{n\pi}=0 \tag{3·4}$$

をうる。したがつて，この条件を用いると剪断力 $s(x)$ は

$$s(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,}{}'{}_{n}+2w_{w2,}{}'{}_{n})\frac{L}{n\pi}\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{3·5}$$

と表わすことができる。つぎに，曲げモーメント $m(x)$ は (3·5) 式から

$$m(x)=\int_{0}^{x}s(\xi)d\xi=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1n}{}'+2w_{w2,n})\left(\frac{L}{n\pi}\right)^{2}\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·6}$$

で表われる。この式から，船が平衡するための第2の条件，すなわち $x=0$ および L において $m(x)=0$ が満足されていることは明かである。

さて，船体に作用する荷重 $w(x)$ を，$w_{w1}{}'(x)$ および $w_{w2}{}'(x)$ に分けて考えると，分離されたそれぞれの力ははそれら自身では一般に平衡していない。$w_{w1}{}'(x)$ の resultant を求めると

$$\int_{0}^{L}w_{w1}{}'(x)dx=-2\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}w_{w1,}{}'{}_{n}\frac{L}{n\pi}\cos n\pi\alpha \tag{3·7}$$

となり，これは一般には零とならない。したがつて，パネル W-1 においては (3·7) 式で示す合力に平衡するだけの反力が横置隔壁，web frame，transverse frame 等の横強度部材を介して作用している筈である。それゆえ，この反力の船長方向の分布はある程度不連続と考えられるが，ここでは縦通隔壁の前後端の横置隔壁間においては連続分布に置換して考えることとする。この連続分布した反力は第2図第2欄の荷重分布曲線において，点線で示すようなものとして表わされ，これを

$$w_{w1}{}''(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}w_{w1,}{}''{}_{n}\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·8}$$

で表わすこととする。しかるときは，パネル W-1 の平衡条件として

$$\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w1}{}'(x)dx+\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w1}{}''(x)dx=0$$

から

$$\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,}{}'{}_{n}-w_{w1,}{}''{}_{n})\frac{L}{n\pi}\cos n\pi\alpha=0 \tag{3·9}$$

をうる。

以上から，パネル W-1 に作用する荷重を $w_{w1}(x)$ とすると，

$$w_{w1}(x)=w_{w1}{}'(x)+w_{w1}{}''(x)=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,}{}'{}_{n}-w_{w1,}{}''{}_{n})\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·10}$$

であつて，第2図第2欄の $L.D.$ において太い実線で示すのが $w_{w1}(x)$ である。つぎに，この荷重による剪断力 $s_{w1}(x)$ および曲げモーメント $m_{w1}{}'(x)$ を求めると，それぞれ

$$s_{w1}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,}{}'{}_{n}-w_{w1,}{}''{}_{n})\frac{L}{n\pi}\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{3·11}$$

$$m_{w1}{}'(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1}{}'{}_{n}-w_{w1,}{}''{}_{n})\left(\frac{L}{n\pi}\right)^{2}\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·12}$$

で与えられる。第2図第2欄の $S.F.D.$ および $B.M.D.$ はそれぞれ (3·11) 式および (3·12) 式の分布を示している。

同様にして，$w_{w2}{}'(x)$ の resultant を求めると

$$\int_{0}^{L}w_{w2}{}'(x)dx=-2\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}w_{w2,}{}'{}_{n}\frac{L}{n\pi} \tag{3·13}$$

となり，これも一般には零とならないから，これに平衡するだけの反力が横強度部材を介してパネル W-2 に作用している筈である。この反力を前と同様に連続分布とし，

$$w_{w2}{}''(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}w_{w2,n}{}''\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·14}$$

と表わすと，パネル W-2 の平衡条件として

$$\int_{0}^{L}w_{w2}{}'(x)dx+\int_{0}^{L}w_{w2}{}''(x)dx=0$$

から

$$\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}(w_{w1,n}'-w_{w2,n}'')\frac{L}{n\pi}=0 \tag{3·15}$$

をうる。以上から，パネル W-2 に作用する荷重，剪断力および曲げモーメントをそれぞれ $w_{w2}(x)$, $s_{w2}(x)$ および $m_{w2}'(x)$ とすると

$$w_{w2}(x)=-\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}(w_{w2,}'_n-w_{w2,}''_n)\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·16}$$

$$s_{w2}(x)=\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}(w_{w2,n}'-w_{w2,n}'')\frac{L}{n\pi}\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{3·17}$$

$$m_{w2}'(x)=\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}(w_{w2,n}'-w_{w2,n}'')\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·18}$$

で与えられる。第2図第3欄の $L.D.$，$S.F.D.$ および $B.M.D.$ はそれぞれ (3·16), (3·17) および (3·18) の各式の分布を示している。

しかるに，船の横断面内における反力の平衡を考えると，縦通隔壁1枚のときは

$$w_{w1}''(x)=-2w_{w2}''(x), \qquad \therefore\quad w_{w2,}''_n=-\frac{1}{2}w_{w1,n}'' \tag{3·19}$$

をうる。したがつて，(3·16)～(3·18) の各式はそれぞれ

$$w_{w2}(x)=-\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·16$'$}$$

$$s_{w2}(x)=\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\frac{L}{n\pi}\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{3·17$'$}$$

$$m_{w2}'(x)=\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·18$'$}$$

と書くことができる。

ここで，今後簡単のために (3·10), (3·11) および (3·12) の各式で与えられた荷重，剪断力および曲げモーメントを縦通隔壁端が自由の場合における W-1 の外力系，同様に (3·16)$'$, (3·17)$'$ および (3·18)$'$ の各式で与えられたものを，その場合の W-2 の外力系と，それぞれ仮りに呼ぶこととする。

W-1 および W-2 の外力系から

$$w(x)=w_{w1}(x)+2w_{w2}(x) \quad (3·20), \qquad s(x)=s_{w1}(x)+2s_{w2}(x) \quad (3·21)$$

$$m(x)=m_{w1}'(x)+2m_{w2}'(x) \quad (3·22)$$

が成立することは明らかである。

III-1-2 縦通隔壁端に剪断力が存在する場合： いままでは $w_{w1}'(x)$ および $w_{w2}'(x)$ に平衡する反力として，縦通隔壁の長さにわたつて連続分布した反力のみを考えたが，縦通隔壁前後端に横置隔壁がある場合にはこれからも反力を受ける。パネル W-1 とパネル T-F および T-A の接合部におけるこの反力を F_{w1} とすると，パネル W-1 の平衡条件として

$$\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w1}'(x)dx+\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w,}''(x)dx+2F_{w1}=0$$

が成立しなければならない。この式に (3·1) 式および (3·8) 式を代入すると，(3·9) 式に対応して，F_{w1} は

$$F_{w1}=\sum_{n=1,3\cdot\cdot}^{\infty}(w_{w1,n}'-w_{w1,n}'')\frac{L}{n\pi}\cos n\pi\alpha \tag{3·23}$$

と表わすことができる。一方，剪断力 $s_{w1}(x)$ は $x=\alpha L$ および $(1-\alpha)L$ においては，(3·11) 式から

$$s_{w1}\left(\begin{matrix}x=\alpha L\\ x=(1-\alpha)L\end{matrix}\right)=\pm\sum_{n=1,3}^{\infty}(w_{w1,}'_n-w_{w1,n}'')\frac{L}{n\pi}\cos n\pi\alpha$$

となり，支持反力 F_{w1} を意味することは (3·23) 式から明らかである。すなわち，横置隔壁から支持反力を受ける場合の剪断力の分布 $s_{w1}(x)$ は数式的には (3·11) 式で表わすことができる。したがつて，この場合の曲げモーメントの分布 $m_{w1}'(x)$ も数式的には (3·12) 式で表わされていると考えることができる。

このとき，同様にしてパネル W-2 においてもパネル T-A および T-F との接合部に支持反力を生ずる。これを F_{w2} とすると，パネル T-A または T-F の面内における反力の平衡から

$$F_{w2}=-F_{w1}/2=-\frac{1}{2}\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1}'{}_n-w_{w1,n}'')\frac{L}{n\pi}\cos n\pi\alpha \tag{3·24}$$

となる。この F_{w2} が存在するときも，前と同様にして剪断力 $s_{w2}(x)$，曲げモーメント $m_{w2}'(x)$ は数式的には (3·17)′ 式，(3·18)′ 式と同じ表現によつてそれぞれ表わされていると考えることができる。

結局，この場合の外力系は次のように表わすことができる。すなわち，

W-1 の外力系は

荷　　重：$\begin{cases} w_{w1}(x)=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,}{}'_n-w_{w1,n}'')\sin\frac{n\pi x}{L} \\ \text{およびパネル } W\text{-1 とパネル } T\text{-}A,\ T\text{-}F \text{ の接合部における支持力 } F_{w1}\end{cases}$

この関係を便宜上記号として次のように表現する。

$$w_{w1}(x)=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1}'{}_{,n}-w_{w1,n}'')\sin\frac{n\pi x}{L}+2\boxed{F_{w1}} \tag{3·25}$$

剪　断　力：$$s_{w1}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,n}'-w_{w1,n}'')\frac{L}{n\pi}\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{3·26}$$

曲げモーメント：$$m_{w1}'(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,n}'-w_{w1,n}'')\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·27}$$

同様に，W-2 の外力系は

荷　　重：$$w_{w2}(x)=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\sin\frac{n\pi x}{L}-\boxed{F_{w1}} \tag{3·28}$$

剪　断　力：$$s_{w2}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\frac{L}{n\pi}\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{3·29}$$

曲げモーメント：$$m_{w2}'(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·30}$$

で与えられる。ここに F_{w1} は (3·23) 式で示されている。この場合も (3·20)，(3·21) および (3·22) の各式に対応する関係が成立していることは明かである。

III-1-3 縦通隔壁端に剪断力および曲げモーメントが存在する場合: つぎに，前述したものの外に，実際には縦通隔壁前後端部に bracket が設けられており，したがつてこの bracket が取りつけられている横置隔壁，vertical ring，甲板および船底等の構造上の機構を通じて，パネル W-1 とパネル W-2 との間に曲げモーメントが伝達される。いま仮りにこの曲げモーメントを端部曲げモーメントと呼ぶこととし，パネル W-1 におけるこの分布を $m_{w1}''(x)$ と表わすことにする。$m_{w1}''(x)$ は $\alpha L\leqq x\leqq(1-\alpha)L$ においては一様分布（その値を m_0 とする）をなし，それ以外では零である。したがつて，$m_{w1}''(x)$ を Fourier 級数で表わすと

$$m_{w1}''(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}4m_0\frac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·31}$$

と書くことができる。いま

$$m_{w1}(x)=m_{w1}'(x)+m_{w1}''(x)$$

と書くことにすると，(3·27) 式および (3·31) 式から

$$m_{w1}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left\{(w_{w1,}{}'_n-w_{w1,}{}''_n)\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2+4m_0\frac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\right\}\sin\frac{n\pi x}{L}$$

となる。

また，上述の端部曲げモーメント $m_{w1}''(x)$ に平衡する反モーメントが，縦通隔壁端における横強度材を介してパネル W-2 に作用している。この分布を $m_{w2}''(x)$ とすると，船体横断面内における平衡の関係から

$$m_{w2}''(x)=-m_{w1}''(x)/2=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}2m_0\frac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{3·32}$$

である。いま，$m_{w2}(x)=m_{w2}'(x)+m_{w2}''(x)$ と書くことにすると

$$m_{w2}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left\{\left(w_{w2,n}'+\frac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2-2m_0\frac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\right\}\sin\frac{n\pi x}{L}$$

である。

以上から，この場合の外力系は次のように表わすことができる。すなわち

W-1 の外力系は

荷　　重：　$w_{w1}(x)=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,n}'-w_{w1,n}'')\sin\dfrac{n\pi x}{L}+2\boxed{F_{w1}}$ (3·33)

剪 断 力：　$s_{w1}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}(w_{w1,n}'-w_{w1,n}'')\left(\dfrac{L}{n\pi}\right)\cos\dfrac{n\pi x}{L}$ (3·34)

曲げモーメント：　$m_{w1}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left\{(w_{w1,n}'-w_{w1,n}'')\left(\dfrac{L}{n\pi}\right)^2+4m_0\dfrac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\right\}\sin\dfrac{n\pi x}{L}$ (3·35)

同様に，W-2 の外力系は

荷　　重：　$w_{w2}(x)=-\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\dfrac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\sin\dfrac{n\pi x}{L}-\boxed{F_{w1}}$ (3·36)

剪 断 力：　$s_{w2}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left(w_{w2,n}'+\dfrac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\dfrac{L}{n\pi}\cos\dfrac{n\pi x}{L}$ (3·37)

曲げモーメント：　$m_{w2}(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left\{\left(w_{w2,n}'+\dfrac{1}{2}w_{w1,n}''\right)\left(\dfrac{L}{n\pi}\right)^2-2m_0\dfrac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\right\}\sin\dfrac{n\pi x}{L}$ (3·38)

ここに F_{w1} は (3·23) 式で与えられる。この場合も (3·20)，(3·21) および (3·22) の各式に対応する関係が成立していることは明かである。

ここで述べた外力系は，Ⅲ-1-1 および Ⅲ-1-2 の各場合の外力系をそれぞれ包含するから，今後この外力系について考察する。

III-2　反　力

III-2-1　反力： つぎに，上述した反力について考察する。パネル W-1 および W-2 の変位をそれぞれ各パネルの中央すなわち x 軸上で考えることとし，その変位をそれぞれ $\delta_{w1}(x)$ および $\delta_{w2}(x)$ とする。ここに変位は上向きを正とする。反力はこれら変位の差に比例するものとし，その比例常数を k_1 とすると

$$\bar{w}_{w1}''(x)=-k_1\{\delta_{w1}(x)-\delta_{w2}(x)\} \tag{3·39}$$

と表わすことができる。いま，変位を次のように表わす。

$$\delta_{w1}(x)=\delta_{w1}\sin\frac{\pi x}{L}\quad(3·40),\qquad \delta_{w2}(x)=\delta_{w2}\sin\frac{\pi x}{L}\quad(3·41)$$

ここに反力として $\bar{w}_{w1}''(x)$ と書き，前述の反力 $w_{w1}''(x)$ と区別したのは $w_{w1}''(x)$ は $\alpha L\leqq x\leqq(1-\alpha)L$ にのみ存在するのに対し，(3·40) 式および (3·41) 式で与えられた変位は $0\leqq x\leqq L$ にわたるからである。

$x=\alpha L$, $(1-\alpha)L$ におけるパネル W-1 と W-2 の相対変位を δ_0 とすると

$$\delta_0=(\delta_{w1}-\delta_{w2})\sin\pi\alpha \tag{3·42}$$

である。また，パネル T-A または T-F とパネル W-1 との接合部に生ずる支持反力 F_{w1} と，その断面内の相対変位 δ_0 との関係を，第5図に示すように単純剪断と考えると，つぎのように表わされる。

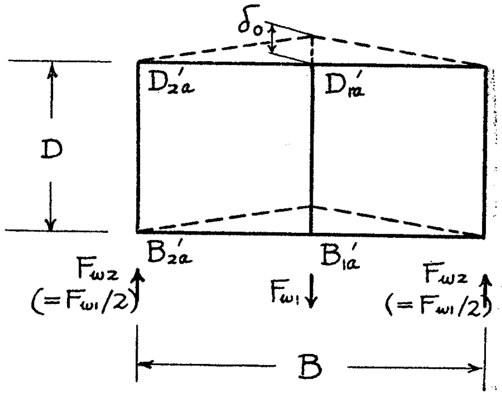
$$F_{w1}=-4\delta_0 Gt_{ta}D/B$$

これに (3·42) 式を代入すると

$$F_{w1}=-\frac{4Gt_{ta}D}{B}(\delta_{w1}-\delta_{w2})\sin\pi\alpha \tag{3·43}$$

となる。つぎに，パネル W-1 に働く垂直方向の力の平衡条件

$$\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w1}'(x)dx+\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}\bar{w}_{w1}''(x)dx+2F_{w1}=0$$



第5図　横置隔壁 T-A，T-F における剪断変形

に (3·39) 式および (3·43) 式を代入して整理すると

$$\delta_{w1}-\delta_{w2}=\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w1}'(x)dx\Big/\{2k_1L(\cos\pi\alpha/\pi)+8Gt_{ta}(D/B)\sin\pi\alpha\} \tag{3·44}$$

をうる。

一方，反力としてすでに $w_{w1}''(x)=\sum_{n=1,3}^{\infty}w_{w1,n}''\sin\dfrac{n\pi x}{L}$ を与えているが，$w_{w1}''(x)$ と $\bar{w}_{w1}''(x)$ との間

には

$$w_{w1,n}''=\Phi_{n,1}(\alpha)\{-k_1(\delta_{w1}-\delta_{w2})\} \qquad (n=1,3,5,\cdots) \tag{3·45}$$

が成立する[2]。ただし

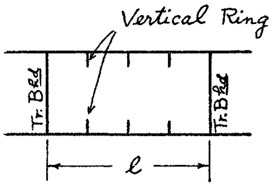
$$\Phi_{n,m}(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{2}{\pi}\left\{\dfrac{\sin(m+n)\pi\alpha}{m+n}-\dfrac{\sin(m-n)\pi\alpha}{m-n}\right\} & (n\neq m)\\ (1-2\alpha)+\sin 2n\pi\alpha/n\pi & (n=m)\end{cases} \tag{3·46}$$

したがつて，(3·44) 式および (3·45) 式から

$$w_{w1,n}''=-\Phi_{n,1}(\alpha)\cdot k_1\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L} w_{w1}'(x)dx\ \{2k_1L(\cos\pi\alpha/\pi)+8Gt_{ta}(D/B)\sin\pi\alpha\} \tag{3·47}$$

と与えられる。

III-2-2 反力の比例常数 k_1 ： (3·47) 式で与えられる反力には，その比例常数 k_1 が含まれている。つぎに，これについて考察する。



第6図　1油槽長内における Vertical Ring の配置

いま，1油槽長 l について考えることとし（第6図参照），この l の長さにわたつて反力 F は一様に分布しているものと仮定する。パネル W-1 と W-2 との相対変位を δ とすると，反力の比例常数 k_1 は次式で与えられる。

$$k_1=F/l\delta \tag{3·48}$$

反力 F に寄与する横強度材としては横置隔壁， web frame， vertical ring，transverse frame.，甲板，船底等が考えられるが，ここでは横置隔壁および vertical ring が主として寄与すると考えることとし， vertical ring は第6図に示すように1油槽長の間に3条設けられている場合について考えると

$$F=F_b+3F_r$$

と書くことができる。ここに F_b および F_r はそれぞれ横置隔壁および vertical ring がパネル W-1 および W-2 の位置において δ の相対変位を生ぜしめるに必要な力である。これを (3·48) 式に代入すると

$$k_1=\frac{1}{l}(k_b+3k_r) \tag{3·49}$$

をうる。ここに k_b および k_r はそれぞれ横置隔壁および vertical ring における反力の比例常数で

$$k_b=F_b/\delta, \qquad k_r=F_r/\delta$$

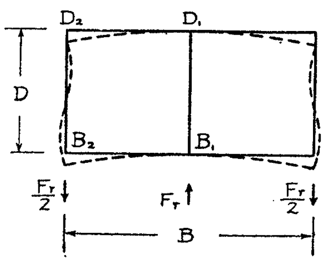
と書くことができる。したがつて， k_1 を求めるのには k_b, k_r を求め，(3·49) 式で計算すればよいことが判る。

k_b は，パネル T-A で考えたのと同様にその変形は単純剪断によるものと考えると，次式で与えられる。

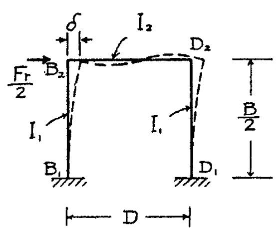
$$k_b=4Gt_bD/B \tag{3·50}$$

ここに t_b は横置隔壁の板厚である。

k_r は第 7-1 図に示すようなラーメンを解くことによつて得られるが，これは左右対称であるから，これは第 7-2 図に示すようなラーメンを解くことに等しい。これから k_r は次のように与えられる。



第 7-1 図　Vertical Ring における ラーメン（その1）



第 7-2 図　Vertical Ring における ラーメン（その2）

$$k_r=\frac{96EK_1\{(K_1/K_2)+6\}}{\{2(K_1/K_2)+3\}B^2} \tag{3·51}$$

---

(2) 附録参照

ここに K_1, K_2 はそれぞれ部材 B_1B_2, B_2D_2 の部材剛度であつて，これらの断面2次モーメントをそれぞれ I_1, I_2 とすると

$$K_1=2I_1/B \quad (3\cdot 52\cdot 1) \qquad K_2=I_2/D \quad (3\cdot 52\cdot 2)$$

で与えられる。

III-3 端部曲げモーメント

III-3-1 端部曲げモーメント： つぎに端部曲げモーメント m_0 について考える。この m_0 は $x=\alpha L$ および $(1-\alpha)L$ の位置におけるパネル W-1 および W-2 の回転角の差に比例するものとし，その比例常数を k_2 とすると次のように表わすことができる。すなわち

$$m_0=k_2(\theta_{w1}-\theta_{w2}) \qquad (3\cdot 53)$$

ここに θ_{w1} および θ_{w2} はそれぞれパネル W-1 および W-2 の $x=\alpha L$ における x 軸上の回転角であつて，反時計方向回転角を正とする。(3·40) および (3·41) の両式から

$$\theta_{w1}=\delta_{w1}\frac{\pi}{L}\cos\pi\alpha \quad (3\cdot 54), \qquad \theta_{w2}=\delta_{w2}\frac{\pi}{L}\cos\pi\alpha \qquad (3\cdot 55)$$

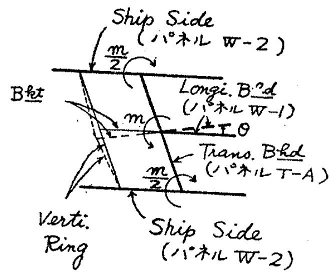
となる。したがつて，(3·53) 式に (3·44), (3·54) および (3·55) の各式を代入して整理すると

$$m_0=(B/L)\pi^2k_2\int_{\alpha L}^{(1-\alpha)L}w_{w1}'(x)dx/\{2k_1LB+8Gt_{ta}D\pi tan\pi\alpha\} \qquad (3\cdot 56)$$

をうる。

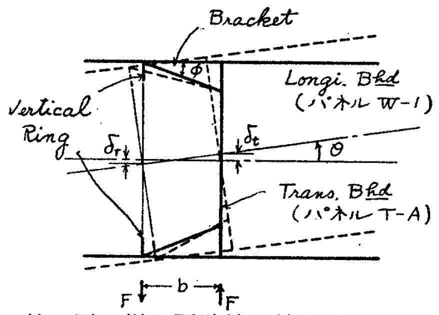
III-3-2 端部曲げモーメントの比例常数 k_2： (3·56) 式に含まれている常数 k_2 は，第8図に示すように，縦通隔壁端においてパネル W-1 および W-2 の間に捩りを加えたとき，単位の相対角変化を生ずるようなモーメントの値として求められる。すなわち

$$k_2=m/\theta \qquad (3\cdot 57)$$



第8図 縦通隔壁端の端部曲げモーメント

前述のように，縦通隔壁端部に設けられた bracket のために，これが取り付けられている横置隔壁， vertical ring. 甲板または船底等の構造上の機構を通じてパネル W-1 と W-2 の間に曲げモーメントが伝達されるが，この伝達される曲げモーメントすなわち端部曲げモーメントは，bracket の取りつけられている横置隔壁および vertical ring に第9図に示すように垂直方向の力を生ずる。この力を F, bracket の長さすなわち横置隔壁と vertical ring との距離を b, bracket の vertical ring 側の角を ϕ とすると，m はほぼ次式で表わされると考えることができる。すなわち，



第9図 縦通隔壁端の端部曲げモーメントによる変形

$$m=Fb\sin\phi \qquad (3\cdot 58)$$

つぎに，力 F のために横置隔壁および vertical ring が，パネル W-1 と W-2 の間に生ずる相対変位をそれぞれ δ_t および δ_r とすると，

$$\theta=(|\delta_t|+|\delta_r|)/b \qquad (3\cdot 59)$$

(3·57) 式に (3·58) 式および (3·59) 式を代入して整理すると，

$$k_2=\frac{k_t\cdot k_r}{k_t+k_r}b^2\sin\phi \qquad (3\cdot 60)$$

をうる。ここに

$$k_t=F/|\delta_t| \quad (3\cdot 61\cdot 1), \qquad k_r=F/|\delta_r| \qquad (3\cdot 61\cdot 2)$$

であつて，k_t, k_r はそれぞれ (3·50) 式および (3·51) 式によつて与えられるものに等しい。

IV. 船 体 応 力

IV-1 各パネルの応力系

いま考慮している船体の各パネルにおいては，第1表に示す応力系が成立すると考えることができる。該表の

第1表 各パネルの応力系

パネル	境界条件	応力系
W-1	$y_{w1}=\pm\frac{D}{2}$ において $X_{x,w1}$; $Y_{y,w1}$ $x=\alpha L$, $(1-\alpha)L$ において $X_{x,w1}$; $X_{y,w1}$	第2報のII－2，の応力系
W-2	$y_{w2}=\pm\frac{D}{2}$ において $X_{x,w2}$; $Y_{y,w2}$ $x=0$, L において 自由	第2報の II-2 の応力系において $\alpha=0$ および $u_0'=s_m'=u_m'=0$ としたもの $(m=1,2,3,\cdots)$
D-1	$y_{d1}=+\frac{B}{4}$ において $X_{x,d1}$; $Y_{y,d1}$ $y_{d1}=-\frac{B}{4}$ において $X_{x,d1}$; $Y_{y,d1}$ $x=0$, L において 自由	第2報の II-3 の応力系において $\alpha=0$ および $s_m=s_e'=u_0'=u_e'=u_m=0$ としたもの $(l=1,2,3,\cdots;\ m=1,3,5,\cdots)$
B-1	$y_{b1}=+\frac{B}{4}$ において $X_{x,b1}$; $Y_{y,b1}$ $y_{b1}=-\frac{B}{4}$ において $X_{x,b1}$; $Y_{y,b1}$ $x=0$, L において 自由	同 上

境界条件は前述の規約にしたがえば次のように表わされる。パネル W-1 の境界条件

$$\left.\begin{aligned}&y_{w1}=\pm D/2 \text{ において,}\quad X_{x\cdot w1}=\pm\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}p_{w1,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_{y,w1}=\pm\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}q_{w1,n}\sin\frac{n\pi x}{L}\\&x=\alpha L \text{ および } (1-\alpha)L \text{ において}\quad X_{x,w1}=\sum_{l=1,2\cdots}^{\infty}s_{w1,l}\sin\frac{l\pi y_{w1}}{D/2},\quad X_{y,w1}=\pm\left(\frac{u_{w1,0}}{2}+\sum_{l=1,2\cdots}^{\infty}u_{w1,l}\cos\frac{l\pi y_{w1}}{D/2}\right)\end{aligned}\right\} \tag{4·1}$$

ただし

$$u_{w1,0}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\frac{2L}{n\pi D/2}\cos n\pi\alpha\cdot q_{w1,n} \tag{4·2}$$

パネル W-2 の境界条件

$$\left.\begin{aligned}&y_{w2}=\pm D/2 \text{ において,}\quad X_{x,w2}=\pm\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}p_{w2,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_{y,w2}=\pm\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}q_{w2,n}\sin\frac{n\pi x}{L}\\&x=0 \text{ および } L \text{ において, 自由}\end{aligned}\right\} \tag{4·3}$$

パネル D-1 の境界条件

$$\left.\begin{aligned}&y_{d1}=B/4 \text{ において,}\quad X_{x,d1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}p_{d1,1,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_{y,d1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}q_{d1,1,n}\sin\frac{n\pi x}{L}\\&y_{d1}=-B/4 \text{ において,}\quad X_{x,d1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}p_{d1,2,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_{y,d1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}q_{d1,2,n}\sin\frac{n\pi x}{L}\\&x=0 \text{ および } L \text{ において, 自由}\end{aligned}\right\} \tag{4·4}$$

パネル B-1 の境界条件

$$\left.\begin{aligned}&y_{b1}=B/4 \text{ において,}\quad X_{x,b1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}p_{b1,1,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_{y,b1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}p_{b1,1,n}\sin\frac{n\pi x}{L}\\&y_{b1}=-B/4 \text{ において,}\quad X_{x,b1}=\sum_{u=1,3\cdots}^{\infty}p_{b1,2,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_{y,b1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}q_{b1,2,n}\sin\frac{n\pi x}{L}\\&x=0 \text{ および } L \text{ において, 自由}\end{aligned}\right\} \tag{4·5}$$

上述の境界条件を満足する各パネルの応力系は，前報および前々報を参照し，今回の解析に便なるように若干変形して表わすと，それぞれ次のように与えられる。

パネル W-1 の応力系

$$X_{x,w1}=\sum_{n=1,3}^{\infty}\left[P_{w1,n}'A'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w1}\right)+R_{w1}',_nB'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w1}\right)+\sum_{l=1,2}^{\infty}\left\{I_n',_l\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)S_{w1},'_l+J_n,'_l\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)U_{w1},'_l\right\}\sin\frac{l\pi y_{w1}}{D/2}\right]\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{4·6·1}$$

$$Y_{y,w1}=\cdots \tag{4·6·2}$$

$$X_{y,w1}=\sum_{n=1,3}^{\infty}\left\{P_{w1,n}'E'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w1}\right)+R_{w1,}'{}_nF'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w1}\right)\right.$$
$$\left.+\sum_{l=1,2}^{\infty}\left\{K_{n,}'{}_l\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)S_{w1,}'{}_l+L_{n,l}'\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)U_{w1,}'{}_l\right\}\cos\frac{l\pi y_{w1}}{D/2}\right]\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{4·6·3}$$

ここで

$$P_{w1,}'{}_n=p_{w1,n} \tag{4·7·1}$$

$$R_{w1,}'{}_n=-\left\{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/2\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}p_{w1,n}+\left\{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/2\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}q_{w1,n} \tag{4·7·2}$$

$$S_{w1,}'{}_l=s_{w1,l}+\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}M_{l,}'{}_n\left(\frac{D/2}{L},\alpha\right)p_{w1,n}+\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}N_{l,}'{}_n\left(\frac{D/2}{L},\alpha\right)q_{w1,n} \tag{4·7·3}$$

$$U_{w1,}'{}_l=u_{w1,l}+\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}O_{l,}'{}_n\left(\frac{D/2}{L},\alpha\right)p_{w1,n}+\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}P_{l,}'{}_n\left(\frac{D/2}{L},\alpha\right)q_{w1,n} \tag{4·7·4}$$

$$I_{n,}'{}_l\left(\frac{a}{b},\alpha\right)=\frac{2}{a}\int_{\alpha a}^{(1-\alpha)a}I\left(l,\frac{(1/2-\alpha)a}{b},\ \frac{a}{2}-x\right)\sin\frac{n\pi x}{a}dx$$

$$=\frac{4n\pi}{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2}\left\{\frac{3\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2}{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2}\sinh\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}\cosh\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}+\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}\right\}$$

$$\cos n\pi\alpha\Big/\xi_l\left(\frac{(1/2-\alpha)a}{b}\right)+\frac{8\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^3}{\left\{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2\right\}^2}\sinh^2\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}\sin n\pi\alpha\Big/\xi_l\left(\frac{(1/2-\alpha)a}{b}\right) \tag{4·8·1}$$

$$J_{n,l}'\left(\frac{a}{b},\alpha\right)=\frac{2}{a}\int_{\alpha a}^{(1-\alpha)a}J\left(l,\frac{(1/2-\alpha)a}{b},\ \frac{a}{2}-x\right)\sin\frac{n\pi x}{a}dx$$

$$=\frac{8\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2n\pi}{\left\{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2\right\}^2}\cosh^2\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}\cos n\pi\alpha\Big/\xi_l\left(\frac{(1/2-\alpha)a}{b}\right)$$

$$+\frac{4\frac{l\pi a}{b}}{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2}\left\{\frac{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2-(n\pi)^2}{\left(\frac{l\pi a}{b}\right)^2+(n\pi)^2}\sinh\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}\cosh\frac{l\pi(1/2-\alpha)a}{b}-\frac{l\pi(1/2-\alpha)b}{b}\right\}$$

$$\sin n\pi\alpha\Big/\xi_l\left(\frac{(1/2-\alpha)a}{b}\right) \tag{4·8·2}$$

ただし　$n=1,3,5,\cdots\cdots;$　$l=1,2,3,\cdots\cdots.$

パネル W-2 の応力系

$$X_{x,w2}=\sum_{n=1,3}^{\infty}\left[P_{w2,}'{}_nA'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w2}\right)+R_{w}'{}_{2,n}B'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w2}\right)\right.$$
$$\left.+\sum_{l=1,2}^{\infty}J_{n,}'{}_l\left(\frac{L}{D/2},\alpha=0\right)U_{w2,l}'\sin\frac{l\pi y_{w2}}{D/2}\right]\sin\frac{n\pi x}{L} \tag{4·9·1}$$

$$Y_{y,w2}=\cdots \tag{4·9·2}$$

$$X_{y,w2}=\sum_{n=1,3}^{\infty}\left[P_{w2,}'{}_nE'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w2}\right)+R_{w2,}'{}_nF'\left(n,\frac{D/2}{L},y_{w2}\right)\right.$$
$$\left.+\sum_{l=1,2}^{\infty}L_{n,l}'\left(\frac{L}{D/2},\alpha=0\right)U_{w2,l}'\cos\frac{l\pi y_{w2}}{D/2}\right]\cos\frac{n\pi x}{L} \tag{4·9·3}$$

ここで

$$P_{w2}'{}_{,n}=p_{w2,n} \tag{4·10·1}$$

$$R_{w2,}'{}_n=-\left\{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/2\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}p_{w2,n}+\left\{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/2\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}q_{w2,n} \tag{4·10·2}$$

$$U_{w2,l}'=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}O_{l,}{}'_n\left(\frac{D/2}{L},\alpha=0\right)p_{w2,n}+\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}P_{l,}{}'_n\left(\frac{D/2}{L},\alpha=0\right)q_{w2,n} \qquad (4\cdot10\cdot3)$$

ただし　$n=1,3,5,\cdots\cdots$;　$l=1,2,3,\cdots\cdots$,

パネル D-1 の応力系

$$X_{x,d1}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\left[P_{d1,n}A\left(n,\frac{B/4}{L},y_{d1}\right)+R_{d1,n}B\left(n,\frac{B/4}{L},y_{d1}\right)+P_{d1,n}'A'\left(n,\frac{B/4}{L},y_{d1}\right)\right.$$

$$+R_{d1,n}'B'\left(n,\frac{B/4}{L},y_{d1}\right)-\sum_{m=1,3\cdots}^{\infty}J_{n,m}\left(\frac{L}{B/4},\alpha=0\right)U_{d1,m}\cos\frac{m\pi y_{d1}}{2B/4}+\sum_{l=1,2}^{\infty}J_{n,}{}'_l\left(\frac{L}{B/4},\alpha=0\right)U_{d1,l}'$$

$$\left.\sin\frac{l\pi y_{d1}}{B/4}\right]\sin\frac{n\pi x}{L} \qquad (4\cdot11\cdot1)$$

$Y_{y,d1}=\cdots$ (4·11·2),　　$X_{y,d1}=\cdots$ (4·11·3)

ここで

$$P_{d1,n}=(p_{d1,1,n}+p_{d1,2,n})/2 \qquad (4\cdot12\cdot1)$$

$$R_{d1,n}=-\left\{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)/2\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}\right\}(p_{d1,1,n}+p_{d1,2,n})/2 \qquad (4\cdot12\cdot2)$$

$$P_{d1,n}'=(p_{d1,1,n}-p_{d1,2,n})/2 \qquad (4\cdot12\cdot3)$$

$$R_{d1,n}'=-\left\{\xi_n'\left(\frac{B/4}{L}\right)/2\sinh^2\frac{n\pi B/4}{L}\right\}(p_{d1,1,n}-p_{d1,2,n})/2 \qquad (4\cdot12\cdot4)$$

$$U_{d1,m}=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}O_{m,n}\left(\frac{B/4}{L},\alpha=0\right)(p_{d1,1,n}+p_{d1,2,n})/2 \qquad (4\cdot12\cdot5)$$

$$U_{d1,}{}'_l=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}O_{l,n}'\left(\frac{B/4}{L},\alpha=0\right)(p_{d1,1,n}+p_{d1,2,n})/2 \qquad (4\cdot12\cdot6)$$

ただし　$n=1,3,5,\cdots$;　$m=1,3,5,\cdots$;　$l=1,2,3,\cdots$。

パネル B-1 の応力系

パネル D-1 の応力系において，suffix $d1$ の代りに $b1$ と書き変えたもの

いま，計算の簡易化のために次のように考える。すなわち，パネル D-1 および B-1 においては，一般にその横方向応力は縦方向応力に比し極めて小であるから

$$q_{d1,1,n}=q_{d1,2,n}=q_{b1,1,n}=q_{b1,2,n}=0 \qquad (4\cdot13)$$

とする。また，パネル D-1 と W-1 および W-2，パネル B-1 と W-1 および W-2 の接合部において，それぞれの面内における船長方向応力は等しいものとし，かつ応力分布は上下逆対称であることを考慮すると

$$p_{b1,1,n}=-p_{d1,1,n} \quad (4\cdot14\cdot1), \qquad p_{b1,2,n}=-p_{d1,2,n} \quad (4\cdot14\cdot2)$$

$$p_{w1,n}=\sum_{m=1,3}^{\infty}\Phi_{n,m}(\alpha)p_{d1,1,m} \quad (4\cdot14\cdot3)^{(3)}, \qquad p_{w2,n}=p_{d1,2,n} \quad (4\cdot14\cdot4)$$

である。

以上から，unknown な境界条件は，$p_{d1,1,n}$，$p_{d1,2,n}$，$q_{w1,n}$，$q_{w2,n}$，$s_{w1,l}$，$u_{w1,l}$ の $(4n+2l)$ 個である。これらを与えられた外力と平衡するように定める必要がある。これらのうち $s_{w1,l}$ および $u_{w1,l}$ は縦強度のみならず，縦通隔壁端部を拘束する bracket や横置隔壁等によつて影響され，いわゆる横強度や局部強度に関連するので，本稿においては別に述べるように考慮することとし，$p_{d1,1,n}$，$p_{d1,2,n}$，$q_{w1,n}$，$q_{w2,n}$ の解析を主として取扱うこととする。

さて，船体にある外力が作用したとき船体内部に生ずる応力は，外力を前述のように W-1 の外力系と W-2 の外力系に分けて考えると，W-1 の外力系によつて船体内部に生ずる応力成分と，W-2 の外力系によつて船体内部に生ずる応力成分との和で与えられると考えることができる。これら外力系のうち，剪断力は船体梁の web の部分で受け持ち，曲げモーメントは web および flange の部分で受け持つと考えて解析する。

いま W-1 または W-2 の外力系によつて生ずる応力成分を表わすのに，各応力成分の記号の前に 1，または 2 を prefix し，${}_1X_{x,w1}$，${}_1p_{w1,n}$ 等と記すこととする。

IV-2　W-1 の外力系によつて生ずる船体応力

---

(3)　附録参照

W-1 の外力系の剪断力は，パネル W-1 の応力系の剪断応力の summation と平衡するという条件から

$$s_{w1}(x)=\int_{-D/2}^{D/2} t_{w1},\, X_{y,\,w1}\, dy_{w1}$$

が成立する。この式に (3·34) 式および (4·6·3) 式を代入して整理すると

$$ {}_1q_{w1,n}=(w_{w1,}{}'_n-w_{w1,n}'')/2t_{w1} \qquad (n=1,3,5,\cdots) \tag{4·15}$$

をうる。つぎに，曲げモーメントの平衡について考えると，

$$m_{w1}(x)=\int_{-D/2}^{D/2} t_{w1}'\cdot{}_1X_{x,w1}y_{w1}dy_{w1}+2\int_{-D/2}^{D/2} t_{w2},'{}_1X_{x,w2}y_{w2}dy_{w2}+2\int_{-B/4}^{B/4} t_{d1}',{}_1X_{x,d1}D\,dy_{d1}$$

である。この式に (3·35), (4·6·1), (4·9·1) および (4·11·1) の各式を代入し整理すると

$$\begin{aligned}
&(w_{w1,}{}'_n-w_{w1,n}'')\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2+4m_0\frac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}\\
&\doteqdot\sum_{m=1,3}^{\infty}\frac{LD}{n\pi}\left[t_{w1}'\left\{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)/2\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}+t_{d1}'\left\{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)/\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}\right\}\right]\Phi_{n,m}(\alpha)\,{}_1p_{d1,1,m}\\
&+\frac{LD}{n\pi}\left[t_{w2}'\left\{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}+t_{d1}'\left\{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)\Big/\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}\right\}\right]{}_1p_{d1,2,n}\\
&+2\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2t_{w1}'\left[1-\frac{1}{4}\,\frac{n\pi D}{L}\left\{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}\right]{}_1q_{w1,n}\\
&+\frac{D^2}{2\pi}t_{w1}'\sum_{l=1,2}^{\infty}I_{u,}{}'_l\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)\frac{(-1)^{l+1}}{l}\,{}_1s_{w1,l}+\frac{D^2}{2\pi}t_{w1}'\sum_{l=1,2}^{\infty}J_{n,}{}'_l\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)\frac{(-1)^{l+1}}{l}\,{}_1u_{w1,l}
\end{aligned}\tag{4·16}$$

をうる。(4·16) 式において，縦通隔壁端における曲げモーメントの伝達は，実船では通常極めて小であるから

$$m_0={}_1s_{w1,l}=0 \qquad (l=1,2,3,\cdots) \tag{4·17}$$

とする。つぎに，パネル D-1 および B-1 をパネル W-2 の面に展開し，第 10 図のように考えると，$x=0$, L および $y=\pm(D+B)/2$ を境界とする矩形板において，境界条件

$y=\pm(D+B)/2$ において，$X_x=\pm\sum_{m=1,3\cdots}^{\infty}{}_1p_{d1,1,n}\sin\dfrac{n\pi x}{L}$,

$Y_y=0$

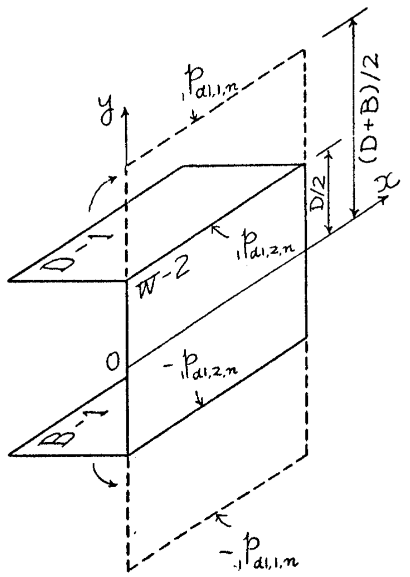
$x=0$, L において，自由

を満足する解において，$y=D/2$ における X_x の値から ${}_1p_{d1,1,n}$ と ${}_1p_{d1,2,n}$ の関係を求めることができる。これから前報を参照して

$$ {}_1p_{d1,2,n}\doteqdot P'\left(n,\frac{(D+B)/2}{L},\ \frac{D}{2}\right){}_1p_{d1,1,n} \quad (n=1,3,5,\cdots) \tag{4·18}$$

をうる。ただし

$$\begin{aligned}
P'\left(n,\frac{(D+B)/2}{L},\ \frac{D}{2}\right)&=A'\left(n,\frac{(D+B)/2}{L},y=\frac{D}{2}\right)\\
&-\left\{\xi_n'\left(\frac{(D+B)/2}{L}\right)\Big/2\sinh^2\frac{n\pi(D+B)/2}{L}\right\}B'\left(n,\frac{(D+B)/2}{L},y=\frac{D}{2}\right)
\end{aligned}\tag{4·19}$$



第 10 図 ${}_1p_{d1,1,n}$ と $p_{1d1,2,n}$ との関係

また，パネル W-1 とパネル T-A および T-F との接合部における剪断応力の分布を2次の parabola と仮定し

$${}_1X_{y,w1}=\pm\frac{u}{D}\left(y_{w1}-\frac{D}{2}\right)^2$$

とおく。これを Fourier 級数に展開して (4·1) のようにおくと，(4·2) 式および (3·23) 式を用い

$${}_1u_{w1,l}=\frac{12}{(l\pi)^2}\,\frac{F_{w1}}{Dt_{w1}} \qquad (l=1,2,3,\cdots) \tag{4·20}$$

をうる、

以上から，(4·16) 式に (4·15) 式，(4·17) 式，(4·18) 式および (4·20) 式の各式を代入すると

$$(w_{w1,n}-w_{w,n}'')-\frac{t_{w1}'}{t_{w1}}\,\frac{24}{\pi^2}\,\frac{F_{w1}}{L}n\left\{\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\Big/\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)\right\}\sum_{l=1,2}^{\infty}\frac{(-1)^{l+1}}{l^3}J_{nl}'\left(\frac{L}{D/2},\alpha\right)$$

$$=t_{d1}'\sum_{m=1,3}^{\infty}\Bigg[4\Delta_{n,m}\Bigg\{\frac{t_{w2}'}{t_{d1}'}\frac{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}+\frac{\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}\frac{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)}{\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}}\Bigg\}P'\left(n,\frac{(D+B)/2}{L},\frac{D}{2}\right)$$

$$+2\Bigg\{\frac{t_{w1}'}{t_{d1}'}\frac{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}+2\frac{\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}\frac{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)}{\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}}\Bigg\}\Phi_{n,m}(\alpha)\Bigg]{}_1p_{d1,1,m}\qquad(n=1,3,5,\cdots)\tag{4·21}$$

をうる。ただし，$\Delta_{n,m}$ は Kronecker の delta である。

IV-3 W-2 の外力系によつて生ずる船体応力

前と同様にして，剪断力の平衡の条件として

$$2s_{w2}(x)=2\int_{-D/2}^{D/2}t_{w2}\cdot{}_2X_{yw2}\,dy_{w2}$$

が成立する。この式に (3·37) 式および (4·9·3) 式を代入し整理すると

$${}_2q_{w2,n}=(w_{w2,}'{}_n+w_{w1,n}''/2)/2t_{w2}\qquad(n=1,3,5,\cdots)\tag{4·22}$$

をうる。つぎに，曲げモーメント平衡の条件として

$$2m_{w2}(x)=\int_{-D/2}^{D/2}t_{w1}'\cdot{}_2X_{x,w1}\,y_{w1}\,dy_{w1}+2\int_{-D/2}^{D/2}t_{w2}'\cdot{}_2X_{x,w2}\,y_{w2}\,dy_{w2}+2\int_{-B/4}^{B/4}t_{d1}'\cdot{}_2X_{x,d1}\,D\,dy_{d1}$$

が成立する。この式に (3·38)，(4·6·1)，(4·9·1) および (4·11·1) の各式を代入し整理すると

$$2(W_{w2,}'{}_n+W_{w1,n}''/2)\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2-4m_0\frac{\cos n\pi\alpha}{n\pi}$$

$$\doteqdot\sum_{m=1,3}^{\infty}\frac{LD}{n\pi}\left[\Delta_{n,m}t_{d1}'\left\{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)\Big/\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}\right\}+\frac{1}{2}t_{w1}'\left\{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}\Phi_{n,m}(\alpha)\right]{}_2p_{d1,1,m}$$

$$+\frac{LD}{n\pi}\left[t_{w2}'\left\{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}+t_{d1}'\left\{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)\Big/\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}\right\}\right]{}_2p_{d1,2,n}$$

$$+4\left(\frac{L}{n\pi}\right)^2t_{w2}'\left[1-\frac{1}{4}\frac{n\pi D}{L}\left\{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)\Big/\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}\right\}\right]{}_2q_{w2,n}\tag{4·23}$$

をうる。(4·23) 式において，前と同様にして

$$m_0=0\tag{4·24}$$

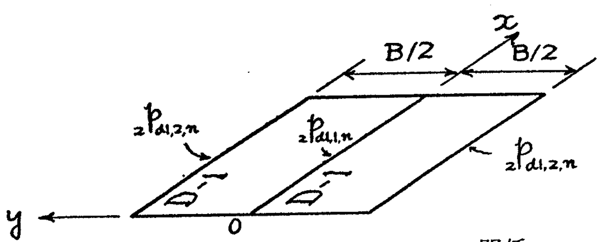
とする。また，左右両弦のパネル D-1 を1枚のパネルとし，第 11 図のように考えると，$x=0$，L および $y=\pm B/2$ を境とする矩形板において，境界条件

$y=\pm B/2$ において，

$$X_x=\sum_{m=1,3}^{\infty}{}_2p_{d1,2,n}\sin\frac{n\pi x}{L},\quad Y_y=0$$

$x=0$，L において，自由

を満足する解において，$y=0$ における X_x の値から ${}_2p_{d1,2,n}$ と ${}_2p_{d1,1,n}$ の関係を求めることができるこれから，前報を参照して



第 11 図 ${}_2p_{d1,1n}$ と ${}_2p_{d1,2,n}$ との関係

$${}_2p_{d1,1,n}\doteqdot P\left(n,\frac{B/2}{L},0\right){}_2p_{d1,2,n}\tag{4·25}$$

をうる。ただし

$$P\left(n,\frac{B/2}{L},0\right)=A\left(n,\frac{B/2}{L},y=0\right)-\left\{\xi_n\left(\frac{B/2}{L}\right)\Big/2\cosh^2\frac{n\pi B/2}{L}\right\}B\left(n,\frac{B/2}{L},y=0\right)\tag{4·26}$$

である。以上から，(4·23) 式に (4·22)，(4·24) および (4·25) の各式を代入すると

$$w_{w2,}'{}_n+w_{w1,n}''/2=t_{d1}'\sum_{m=1,3}^{\infty}\Bigg[2\Delta_{n,m}\Bigg\{\frac{t_{w2}'}{t_{d1}'}\frac{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}+\frac{\sinh^2\frac{n\pi D/2}{L}}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}\frac{\xi_n\left(\frac{B/4}{L}\right)}{\cosh^2\frac{n\pi B/4}{L}}$$

$$\times\left(1+P\left(n,\frac{B/2}{L},0\right)\right)\Bigg\}+\frac{t_{w1}'}{t_{d1}'}\frac{\xi_n'\left(\frac{D/2}{L}\right)}{\xi_n\left(\frac{D/2}{L}\right)}\Psi_{n,m}\left(\alpha,\frac{B/2}{L},0\right)\Bigg]{}_2p_{d1,2,m}\quad(n=1,3,5,\cdots)\tag{4·27}$$

をうる。ただし

$$\Psi_{n,m}\left(\alpha,\frac{B/2}{L},0\right)=\Phi n,_m(\alpha)\cdot P\left(n,\frac{B/2}{L},0\right)\tag{4·28}$$

IV-4 与えられた外力系によつて生ずる船体応力

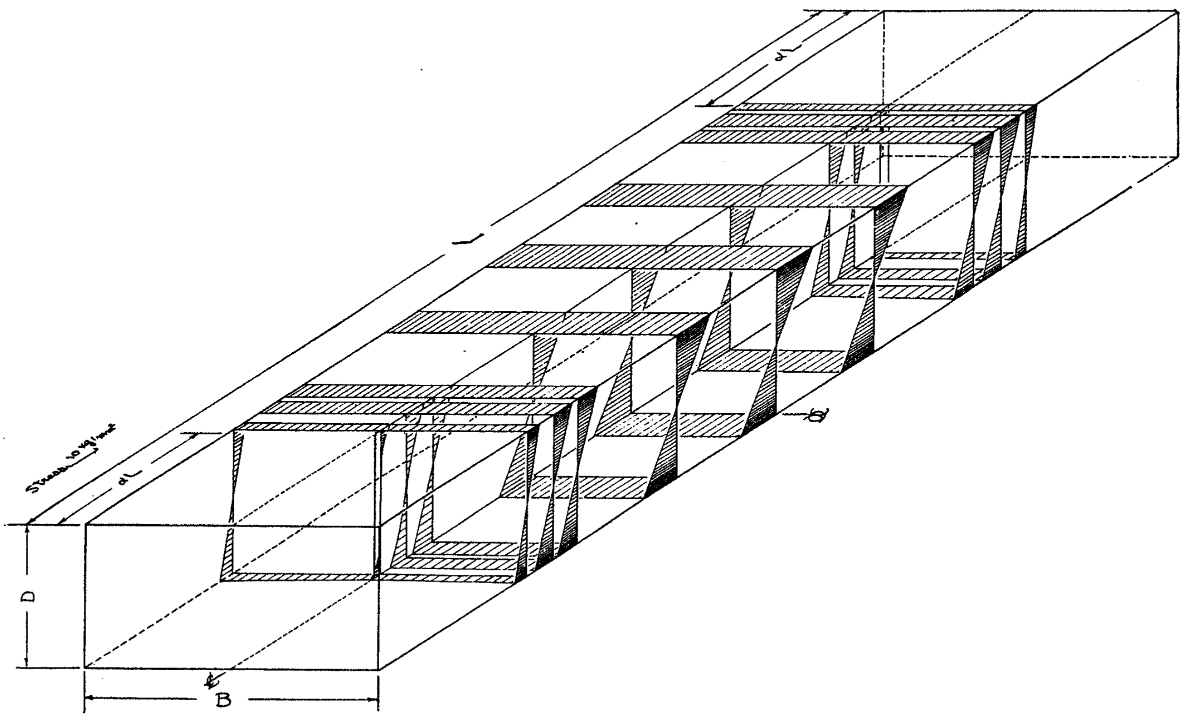
以上によつて W-1 および W-2 の外力系によつて生ずる応力成分が得られたから，実際に船に働く外力系によつて生ずる船体応力は

$$q_{w1,n}={}_1q_{w1,n}\tag{4·29·1}$$
$$q_{w2,n}={}_2q_{w2,n}\tag{4·29·2}$$
$$u_{w1,l}={}_1u_{w1,l}\tag{4·29·3}$$
$$p_{d1,1,n}={}_1p_{d1,1,n}+{}_2p_{d1,1,n}\tag{4·29·4}$$
$$p_{d1,2,n}={}_1p_{d1,2,n}+{}_2p_{d1,2,n}\tag{4·29·5}$$

とすることにより，前報または前々報を開いて各パネルの応力を求めることができる。

V. 数値計算例

上に得た結果を $D\cdot W$ 65,000 t 型の超大型油槽船を想定して数値計算を行なつた。計算に用いた船の諸要目は次の通りである。$L=245$ m，$B=35$ m，$D=17.5$ m，$\alpha=0.18$，$\varDelta=86,955$ t，$d=9.893$ m 船長方向の重量分布は $0\leq x<\alpha L$ および $(1-\alpha)L<x\leq L$ では 309.8 t/m，$\alpha L\leq x\leq(1-\alpha)L$ では 380.3 t/m，想定した波は波長が船長に等しく波高は船長の 1/27.5 に等しい正弦波で波底が⊠にある状態とした。このような荷重状態に対する $L.D.$，$S,F.D.$ および $B.M.D.$ が第 2 図に示したものである。各パネルの板厚は $t_{w1}=48$ mm，$t_{w2}=32$，$t_{d1}=t_{b1}=45$，$t_{w1}'=76$，$t_{w2}'=42$，$t_{d1}'=60$，$t_{ta}=0$，$t_b=14$ である。ここで重量配分や波高が必ずしも実情と一致しないかも知れないが，これは剪断力および曲げモーメントの値が実船と comparable となるように選んだためである。



第 12 図 船体の応力分布

以上の場合について計算した例を第 12 図に示した。

VI. 結　　語

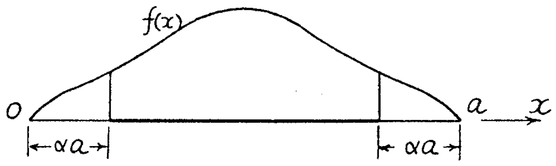
以上をまとめて，本稿において油槽船を模した箱型構造について理論的解析法を説明し，併せてその計算例と

して簡単な場合を示した。本稿においては縦通隔壁1枚の場合について説明したが，1枚以上の場合およびそれらの比較等については現在解析中であるので，まとまり次第報告する。

終りに，御指導を賜つた東大吉識教授，運研船舶構造部秋田部長，東大山本助教授，NK守屋技師長をはじめ御援助頂きました方々に対し厚く御礼申し上げます。また，数値計算に従事した大木俊彦君に感謝の意を表します。

附　録

第 A-1 図に示すように，x 軸上の o から a までの区間において，函数 $f(x)$ が次のような Fourier 級数で表わされているものとする。すなわち



第 A-1 図　函数 $f(x)$ の分布

$$f(x)=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty} p_n \sin\frac{n\pi x}{a} \qquad \text{(A-1)}$$

このとき，$o\sim a$ の区間の1部 αa から $(1-\alpha)a$ までの区間に含まれる部分を Fourier 級数で表現することについて考える。

いま，函数 $f'(x)$ として

$$f'(x)=\begin{cases} 0, & 0\leq x<\alpha a \\ f(x), & \alpha a\leq x\leq(1-\alpha)a \\ 0, & (1-\alpha)a<x\leq a \end{cases}$$

を考え，

$$f'(x)=\sum_{m=1,3\cdots}^{\infty} p_m \sin\frac{m\pi x}{a} \qquad (A-2)$$

のように展開すると p_m は次のように与えられる。

$$p_m=\frac{2}{a}\int_{\alpha a}^{(1-\alpha)a}\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty} p_n \sin\frac{n\pi x}{a}\sin\frac{m\pi x}{a}dx \quad (m=1,3,5,\cdots) \qquad \text{(A-3)}$$

(A-3) 式を計算すると

$$p_m=\sum_{n=1,3\cdots}^{\infty}\Phi_{m,n}(\alpha)p_n \qquad (m=1,3,5,\cdots) \qquad \text{(A-3)}'$$

をうる。ただし

$$\Phi_{m,n}(\alpha)=\begin{cases} \dfrac{2}{\pi}\left\{\dfrac{\sin(n+m)\pi\alpha}{n+m}-\dfrac{\sin(n-m)\pi\alpha}{n-m}\right\} & (n\neq m) \\ (1-2\alpha)+\sin 2n\pi\alpha/n\pi & (n=m) \end{cases}$$

$$(m=1,3,5,\cdots;\ n=1,3,5,\cdots)$$

である。