

(昭和 33 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

縦横に補強された板の強度 (第2報)

——等分布荷重を受ける板の実験結果と理論の比較——

正員 安 藤 文 隆*

On the Strength of the Orthogonally Stiffened Plate (2nd Report)

By Noritaka Ando, *Member*

Abstract

This is the second report on the strength of the orthogonally stiffened plate, in which the results of the experimental study on the simply supported orthogonally stiffened square plates suffered by the uniformly distributed load are discussed, comparing them with the theoretical value.

After precise investigations on the distribution of deflections and stresses, it was concluded that these plates could be sufficiently expressed by the orthotropic plate theory treated in the first report on the same title.

緒 言

本報告は一般の船体に見られるような、防撓材によつて縦横に補強された板を周辺で単純支持して等分布荷重をかけ、各部の撓、応力を計測して第1報⁽¹⁾で求めた直交異方性板理論値と比較したものである。これによつて直交異方性板理論がどの程度このような実際の構造に適用出来るを検討した。なお縦肋骨式構造船のトランスの入れ方について若干の考察も行つた。

実 験 の 概 要

i 試 験 片

この実験に用いた試験片は第1図に示す如く $2,320 \times 2,320 \times 6$ mm の正方形の板にスチフナとして高さ 200 mm の flat bar を縦横に溶接し、そのスチフナの本数、及び板厚を変えた5種であるが、解析に便なるように

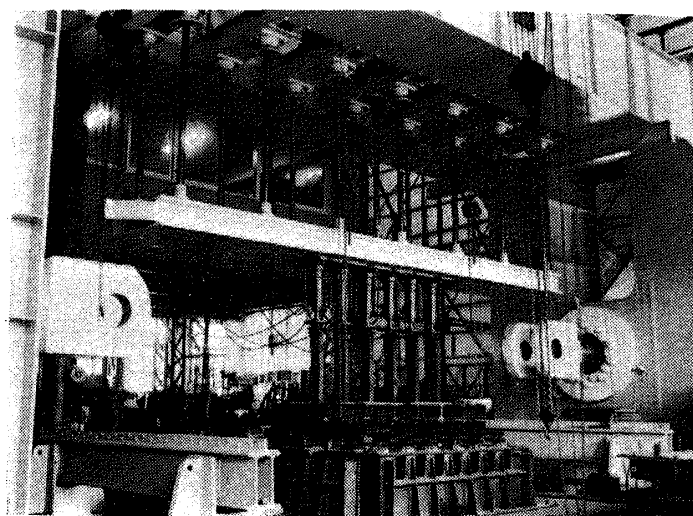
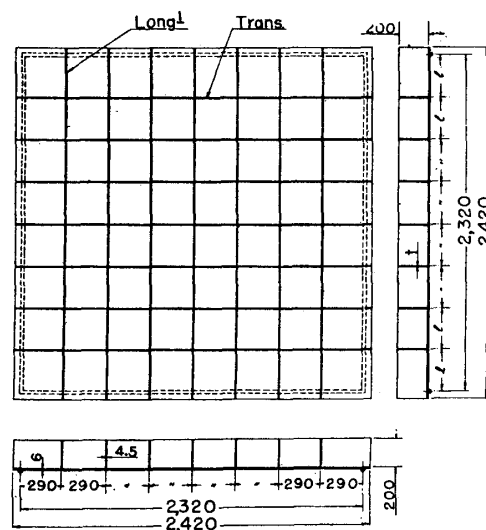


写真1 試験装置



第1図 試験片

原稿受付. 7月15日

* 運輸技術研究所船舶構造部

1) 著者: 縦横に補強された板の強度 (第1報) 造船協会論文集 第103号

試験片記号	トランス の本数	トランス 心 巨 (l)	板 厚 (t)
A	7	290 mm	3.0 mm
B	3	580	3.0
B-1	3	580	4.5
B-2	3	580	1.8
C	1	1,160	3.0

一つの方向（ロンジ方向とする）のスチフナは寸法、本数を一定（4.5mm, 7本）にし、これに対しトランスの寸法、本数を上表のように変化させた。

つまりトランスに関して、A, B, C は本数の系列であり、B, B-1, B-2 は板厚の系列である。第1図及び写真2にその概要を示す。なお試験片には図示の如く端部支持金具が当る線に沿って板の裏側（スチフナと反対側）に 20×30mm の bar を溶接した。これは荷重がかかったとき、板がこの位置で局部的に変形するのを防ぐためである。

ii 実験方法

各試験片は各部寸法を詳細に計測した後、支持金具の上に乗せて運研の多荷重構造物試験装置により板側から荷重をかけ、曲げ試験を行つた。支持金具は高さ 660mm の組立て桁を四つ組合せたもので、スチフナの当る位置で櫛の歯状に切り欠いてあり、板の部分で試験片を支持するようにした。これはスチフナに集中荷重がかかると局部的な応力が生じて解析に不便だからである。また各隅部では支持金具にとりつけた試験片固着装置で試験片を上方から挟んで固着し、荷重がかかったときこの部の板が上方に持ち上るのを防いだ。

多荷重試験装置は大きなフレームに装置されたがガーダに6本のラムが取付けてあり、このラムによる荷重をローディング・ビームを用いて各6点ずつ、合計 36 点に分け、各着力点の下に木材を入れて全体として等分布荷重に近くなるようにした。計測は撓みをダイヤルゲージで、歪を電気抵抗線歪計で測定したが、撓みの計測は試験片にとりつけた計測梁を基準にして測定し、試験片の全体の変位による誤差を除くようにした。写真1に試験装置、支持金具等を示す。

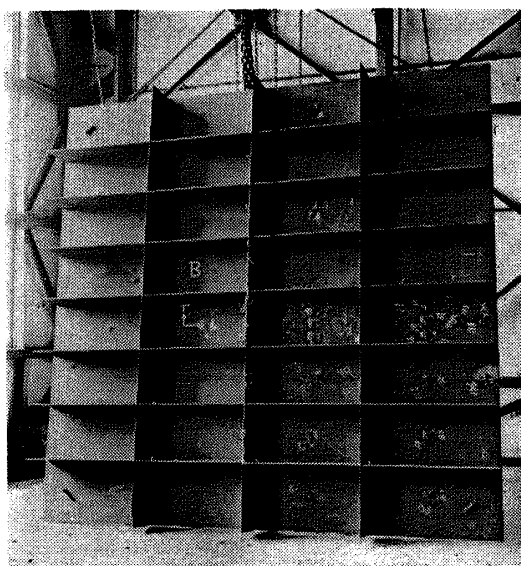
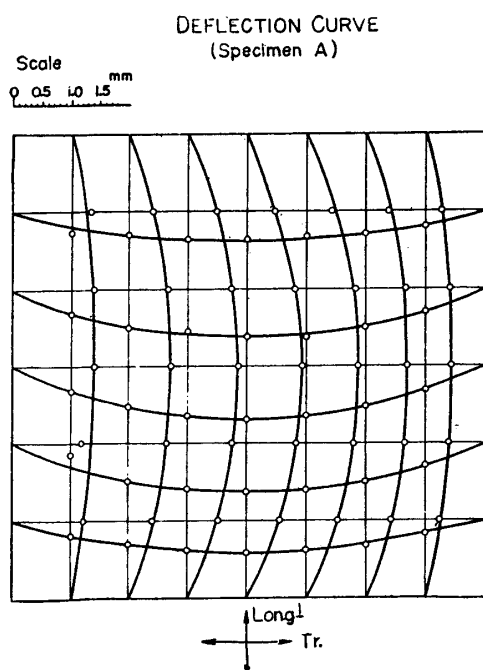


写真2 試験片 (B)



第2図 撓み分布 (A試験片)

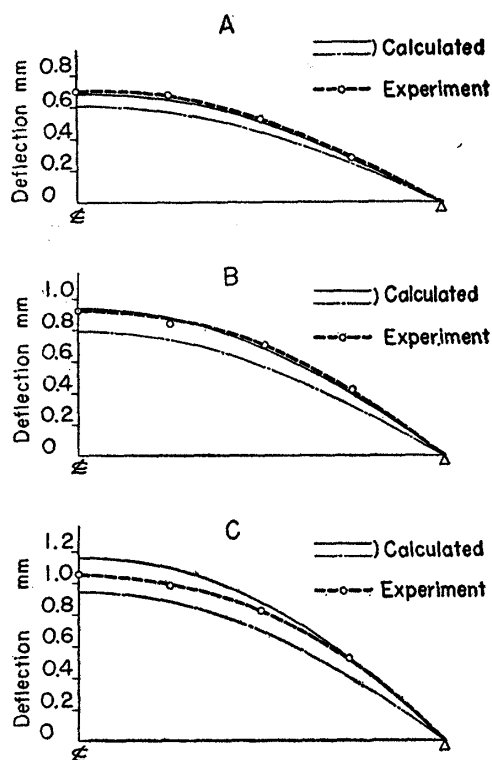
実験結果と理論値との比較

i 撓み

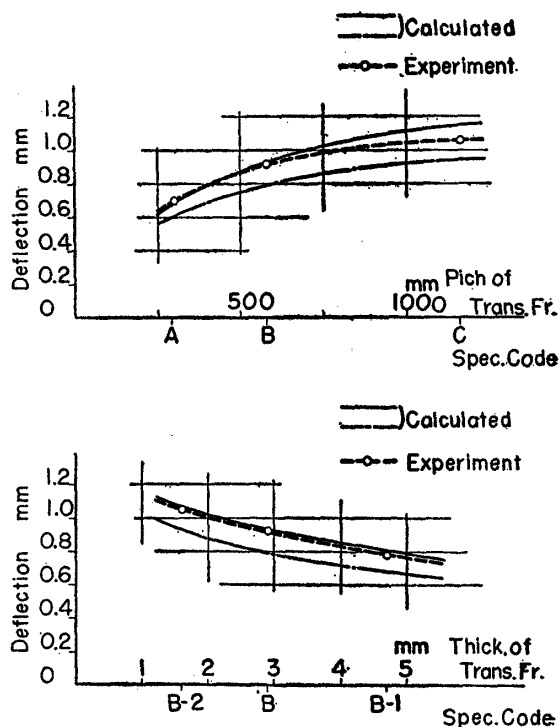
前述のようにして測定した撓みの値から各部の撓み分布曲線を描くと例えば第2図のようになる。(測定値は以下すべて全荷重 10 ton の場合の値を示す。この荷重は海水水頭 1.8m に相当する)。

そこで中央断面における撓み曲線（例として A, B, C 試験片のトランス方向分布を示す）及び各試験片の中央点の撓みの値を図示したものが第3図及び第4図である。この実験に対応する計算値は第1報 (1.1), (1.40), (1.42) 式より $y=0$ とおいて

$$W = \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{4 p_0 a^4}{D_1 m^5 \pi^5} \times \left\{ 1 - \frac{\cosh \alpha_m t \cos \alpha_m u + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sinh \alpha_m t \sin \alpha_m u}{\sinh^2 \alpha_m t + \cos^2 \alpha_m u} \right\} \times \sin \frac{m \pi x}{a} \quad (1)$$



第3図 中央断面の撓み曲線



第4図 中央点の撓み比較

中央点の撓みはこの式で $x = \frac{a}{2}$ とおくと

$$w_0 = \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{m-1}{2}} 4 p_0 a^4}{D_1 m^5 \pi^5} \{ \quad \}$$

ここで,

p_0 = 等分布荷重

$$\alpha_{mt} = \frac{\pi \sqrt{s}}{2\sqrt{2}} \sqrt{1+\zeta}$$

$$\alpha_{mu} = \frac{\pi \sqrt{s}}{2\sqrt{2}} \sqrt{1-\zeta}$$

$$s = D_1/D_3$$

$$\zeta = \frac{D_2}{\sqrt{D_1 D_3}}$$

D_1, D_3 は夫々の方向の曲げ剛性

D_2 は捩り剛性

この式で計算した値を実線及び鎖線で示して同図中に記入してあるが、実線は曲げ剛性として試験片の全断面の平均値を用いたものであり、鎖線は1心巨当りの値(板の有効幅は1心巨全幅をとった)から求めたものである。また捩り係数 ζ は Schade⁽²⁾ にならつて

$$\zeta = \sqrt{\frac{I_{pa}}{I_a} \frac{I_{pb}}{I_b}} \quad \left(\begin{array}{l} I_a, I_b \text{ は各方向の断面2次モーメント} \\ I_{pa}, I_{pb} \text{ は全体の中立軸に対する板のみの断面2次モーメント} \end{array} \right)$$

を用いた。

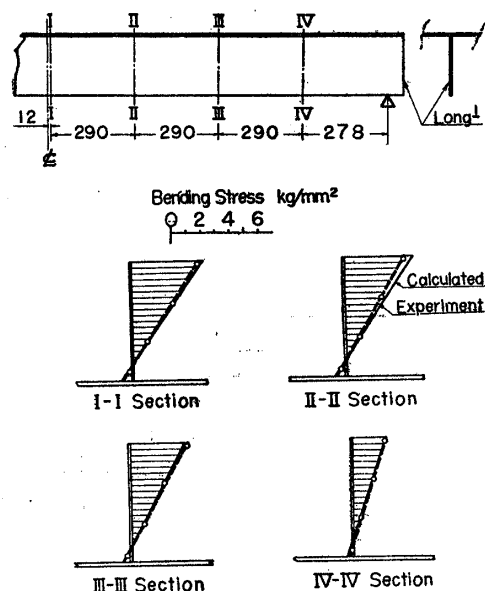
この図を見ると、C試験片の如くトランスが1本しかない極端な場合を除くと実験値と平均曲げ剛性を用いた計算値は非常によく一致している。またC試験片でも両者の差は約10%程度であることより、普通の縦横に補強された板構造は直交異方性板理論で充分計算し得ることが分る。

ii 応 力

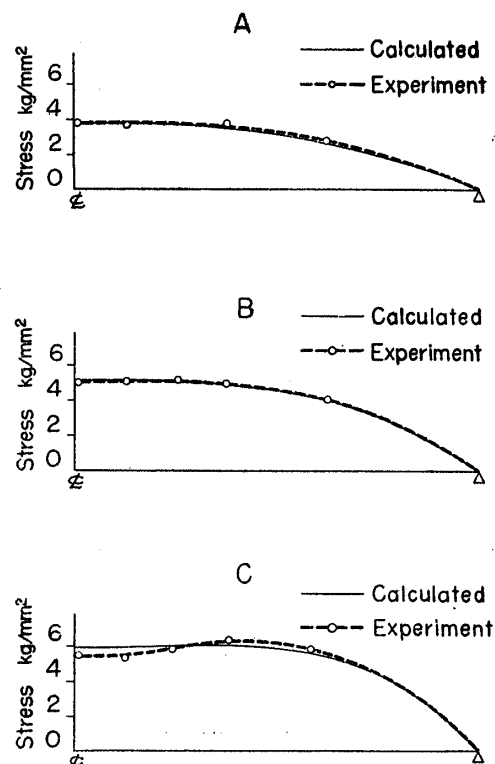
縦横のスティフナの各数断面に於て3乃至4点の歪を計測して曲げ応力を求めたがその一例を第5図に示す。図から分る如く応力は直線状分布で梁理論が用いられることを示し、中立軸は計算値(板は1心巨全幅をとったもの)とよく一致している。次に中央断面に沿つての縁応力の値を第6図に例示し、(A, B, C 試験片のトランス分布を示す)各試験の中央点のスティフナの縁応力を第7図、第8図に示した。

応力の計算値は断面係数を z とすると(1)式より

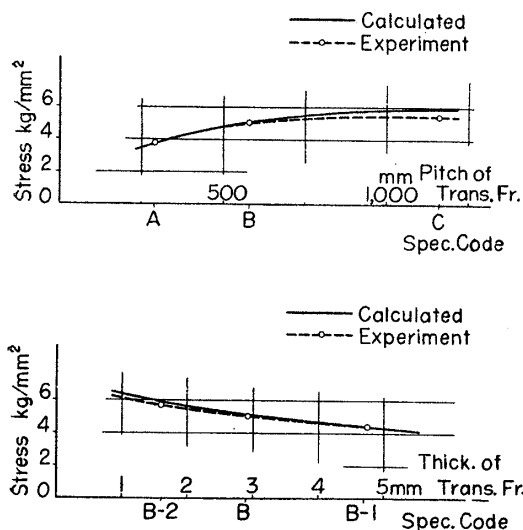
2) H. A. Schade: Design Curves for Cross-Stiffened Plating under Uniform Bending Load, Trans. SNAME, 1941



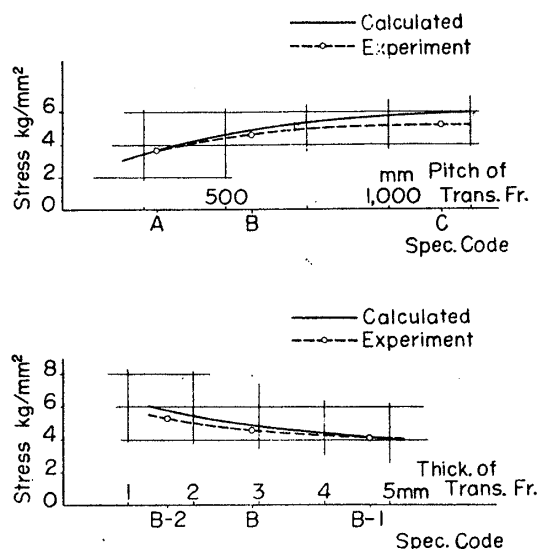
第5図 スチフナの曲げ応力(B試験片ロンジ)



第6図 トランスの縁応力分布



第7図 中央点のロンジ縁応力比較



第8図 中央点のトランス縁応力比較

$$\sigma = \frac{M}{z} = -\frac{D_1}{z} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$$

$$= \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4 p_0 a^2}{m^3 \pi^3} \left\{ 1 - \frac{\cosh \alpha_m t \cos \alpha_m u + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sinh \alpha_m t \sin \alpha_m u}{\sinh^2 \alpha_m t + \cos^2 \alpha_m u} \right\} \sin \frac{m \pi x}{a} \quad (3)$$

中央点の値は $x=0$ とおけばよい。

曲げ剛性として1心巨当りの値(撓みの図の鎖線のものに対応するもの)をとつたものを実線で示す。トランスの縁応力分布は縦横の曲げ剛性の差が大きいもの程、中央点と他の部との差が少なくなり、C試験片になると最大応力は中央より外れた所に生ずる。実験値と計算値を比較して見ると先ずトランス分布では一般に非常によく一致している。但しC試験片の如くトランスが1本の場合では中央の値と最大応力の差が計算以上に大きく出てい

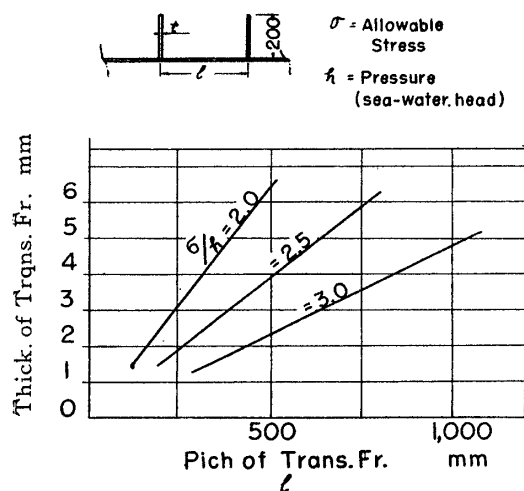
る。いづれにせよトランスの数が少く曲げ剛性が小さいときは最大応力が中央点以外の所に生ずるので、この点は設計上注意すべき所である。次にロンジの中央点の応力を見ると第8図から分る如く A, B-1 以外はやや計算値より低く出ている。特に C 試験片 (トランス1本) や B-2 試験 (トランスの曲げ剛性の大きいもの) では相当開きが生ずる。C, B-2 試験片の中央断面に沿つての値を図示すると第9図の如くであるが、トランスの本数が少ない場合、またはトランスの曲げ剛性が大きい場合はロンジがここで支えられているための局所的な影響が大きいので、全体の平均的な値を示す計算値と外れるのであらうと思われる。然しこのときのロンジ応力は図から分るように一般に計算に対して安全側であるので設計上は差支えないものと考えられる。以上の考察は、ここで扱つた正方形板を基にして、スパンに対しての考慮を入れなかつたが、スチフナの相互の影響は $\rho = \frac{b}{a} \sqrt{s}$ (a, b は夫々 D_1, D_2 なるスチフナに平行な辺の長さ) なるパラメータにより左右されるのでスパンが変れば上述の曲げ剛性に対して $\left(\frac{b}{a}\right)^4$ を乗ずる効果を生ずるわけである。(つまりトランスの曲げ剛性自身はあまり大きくなくても、スパンがロンジに比べて短かければ大きな曲げ剛性をもつものと同じ効果になる)。

なお前の撓みでは計算値として平均の曲げ剛性を用いたときによく実験と一致し、応力では1心巨当りのものをとつたときによく一致したのは撓みは全体の剛性に関係するのに反し、応力はその局所的な構造寸法に左右されることから当然であらう。またスチフナの断面係数を計算する場合の板の幅は、いわゆる有効幅をとらねばならないが、この実験結果から、板をスチフナの心巨全部とつて実用的に差支えないことが分る⁽³⁾。

トランスの入れ方に関する一考察

ここで行つた実験は既述の通り一方のスチフナを一定にして他のスチフナの本数及び寸法を変えた系列であるが、一定の方を縦肋骨方式の船のロンジに、また他方をトランスと考えれば、この結果はロンジ構造船に対するトランスの入れ方に対する示唆を与えるものである。

ここで取扱つた構造を例にとつてトランスの板厚 t とピッチ l の関係を求めて見よう。この構造物に生ずる応力は外圧に比例するから許容応力 σ kg/mm², 外圧 (海水水頭) h m としたとき σ/h を 2.0, 2.5, 3.0 の場合



第10図 トランスの板厚と心巨の関係

に l と t の関係を計算して図示すると第10図のようになる。(外板板厚 6.5 mm, ロンジは 200×4.9 mm, ピッチ 290 mm)。これから分る如く t と l は殆んど直線的な関係にあり、例えば板厚を2倍にすればピッチも2倍にしてもよいという常識的な然し非常に重要な結果がこれから得られたわけである。

結 論

縦横に補強された正方形板を四辺単純支持の条件で等分布荷重を与えて曲げ実験を行い、応力、撓みを計測して第1報で理論的に求めた値と一般によく一致することを確認した。第2報に関する結論を要約すると

1. 計算を行うときの曲げ剛性は撓みに関しては全体の平均値を用い、応力に関しては1心巨当りの値を用いるとよい。また撓み係数に関しては Schade の式で求めて充分である。
2. スチフナの断面2次モーメント及び断面係数を求めるときにつける板の有効幅は板の全幅をとつて実用上
- 3) このことは両辺単純支持の場合の結論である。他の境界条件のときに関してはこれからの問題である。

差支えない。(両辺単純支持の場合)

3. 一方向のステフナ(トランスとする)が1本の場合は応力, 撓みとも計算と若干の差異が生じた。特にトランス方向の応力分布では最大応力が中央点以外の所で比較的大きな値を示した。トランスが3本以上の場合はトランスの応力は計算とよく合っていた。
4. ロンヂの応力も一般に計算と合っていたが, トランスの数が少ない場合, 又はトランスの曲げ剛性が大きい場合は局部的な影響のため計算値より小さい値を示した。
5. ロンヂ構造の船でのトランスの入れ方についての簡単な考察を行い, 一定応力に設計されたトランスの板厚とピッチは直線関係にあることを確めた。

最後にここに述べた実験は日本造船研究協会第35部会(防衛庁依頼)の継続研究の一部であり, 特に種々御討論を賜った東大吉識教授始め, 委員長秋田博士以下委員各位に厚く御礼申し上げますと共に, この実験を引用発表することを許可された防衛庁技研に感謝の意を表するものである。