

(昭和 36 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

水圧を受ける平板の強度

正員 鶴田 彰介* 正員 後藤 大三*
 正員 本間 康之** 正員 藤井登喜男*
 正員 内野 和雄*

Strength of pannels of plating loaded beyond the elastic limits.

By Shousuke Turuta, *Member* Daizo Goto, *Member*
 Yasuyuki Homma, *Member* Tokio Fujii, *Member*
 Kazuo Uchino, *Member*

Summary

The behaviour of panels of plating loaded beyond the elastic limits is studied in this paper. And a simple analytical method based on the plastic hinge theory is presented.

Experiments were carried out using large specimens consist of three continuous panels subjected to water pressure.

A fair agreement between the test results and calculation was obtained.

1 序 論

近年最終荷重を設計の基準にとろうとする塑性設計法が注目を集め、最近は船舶に対してもこのような安全性に対する合理的な考えを適用しようとする試みがなされている。

平板の場合、円板、正方形板のいくつかの場合については最終荷重としての崩壊荷重が求められており、矩形板については種々の荷重条件、境界条件に対する崩壊荷重の上限値、下限値が計算されている¹⁾。これらはいずれも変形とともに板面内に生ずる膜力を考慮しなくても良い場合に適用されるのであるが、船舶の場合に見られるように大きな防撓材によつて平板が連続パネルを構成し、各パネルが同時に荷重を受ける場合、各パネルの境界では面内方向の移動が拘束された完全固定の条件に近い状態となる。このような場合には膜力の影響を無視することができず、この膜力が存在するために板は崩壊現象を生ずることなく非常に高い荷重まで支え得ることが知られている。

この種の問題については、等分布荷重を受ける帯板の場合について、すでに J. Clarkson 氏²⁾、A. G. Young 氏³⁾ の理論が紹介されている。しかし前者の場合帯板の中央に Plastic Hinge を生じた後の変形については計算されておらず、また後者の場合も帯板の中央に Plastic Hinge を生ずる以前と以後の変形が全く異なる仮定で計算されているため、この点で荷重と撓み関係が不連続になるという欠点がある。

本論文では塑性条件を満足する撓み形を仮定した理論解析を行ない、一方軟鋼、高張力鋼、調質高張力鋼を用いた大型試験平板による実験を行ない、理論との比較を行なうと同時に最終的に破断させてその破壊強度を調べた。

2 理 論

理論計算は水圧を受ける両端固定の帯板について行なつたが、この結果は周辺固定の辺長比 3 以上の矩形板に対して適用できることが実験結果からも認められる。

2.1 計 算 の 仮 定

原稿受付 昭和 35 年 12 月 20 日

* 石川島播磨重工業株式会社

** 防衛庁技術研究本部

帯板は完全塑性体であるとし、Tresca の降伏条件に従うものとする。そして塑性モーメントに及ぼす剪断力と歪硬化の影響は考えない。

したがって単位幅当りの全塑性モーメントは

$$m_p = \frac{h^2}{4} \sigma_Y \quad (2.1.1)$$

m_p : 全塑性モーメント

h : 板厚

σ_Y : 一軸引張試験より得られる降伏応力

となる。

さらに膜力を考慮する時の塑性モーメントは

$$sm_p = \frac{h^2}{4} \sigma_Y \left[1 - \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_Y} \right)^2 \right] \quad (2.1.2)$$

sm_p : 膜力のあるときの塑性モーメント

σ_s : 膜応力

で与えられる。

つぎに水圧の増加に従って帯板の変形していく状態を次の4段階に単純化して考え、各変形の段階に対応して撓み形を仮定する。

a) 端部のモーメントが塑性モーメントに達するまで。

この範囲では帯板は至る所弾性的に変形する。

b) 端部のモーメントが塑性モーメントに達した後、中央部のモーメントが塑性モーメントに達するまで。

この間では端部に Plastic Hinge を有し、そこでは塑性モーメントの下で回転すると同時に膜力による Separation を生ずるがその他の部分は弾性的に変形する。

この Separation は A.G. Young 氏⁹⁾ によつて曲げと軸力の同時に働く Plastic Hinge に対して導入された概念でありこの量は

$$\epsilon = \frac{h}{2} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_Y} \cdot \theta \quad (2.1.3)$$

ϵ : Separation

θ : Plastic Hinge の回転角

で与えられる。

c) 中央部のモーメントが塑性モーメントに達した後膜応力が降伏応力に達するまで。

この間では端部と中央部に Plastic Hinge を有しこれらの点では回転すると同時に Separation を生ずるが、その他の部分は弾性体として変形する。

d) 膜応力が降伏応力に達した後。

この範囲では水圧は膜力のみによつて支えられる。

撓み形は幾何学的な境界条件を満たし、Plastic Hinge でのモーメントの連続の条件を満たし、かつ変形の各段階にわたって連続的に変化するものとして

a) の範囲に対して

$$w = 16 w_{m1} \left(\frac{x}{b} \right)^2 \left(1 - \frac{x}{b} \right)^2 \quad (2.1.4)$$

b) の範囲に対して

$$w = 16 w_{m1} \left(\frac{x}{b} \right)^2 \left(1 - \frac{x}{b} \right)^2 + 4 w_{m2} \left(\frac{x}{b} \right) \left(1 - \frac{x}{b} \right) \quad (2.1.5)$$

c) の範囲に対して

$$w = 16 w_{m1} \left(\frac{x}{b} \right)^2 \left(1 - \frac{x}{b} \right)^2 + 4 w_{m2} \left(\frac{x}{b} \right) \left(1 - \frac{x}{b} \right) + 2 w_{m3} \left(\frac{x}{b} \right) \quad (2.1.6)$$

$$\text{ただし} \quad 0 \leq x \leq \frac{b}{2}$$

のように仮定する。d) の塑性膜状態に入ると撓み形は水圧と中央撓み関係に無関係となるので特に仮定しない。

上式中の記号は 2・2) 節に示す通りであり, w_{m1} , w_{m2} , w_{m3} は変数である。

2・2 基礎方程式

帯板は左右対称であるので片側のみを考え第 2・2・1 図のように座標をとる。

w : 撓み

w_m : 中央の撓み

b : スパン

h : 板厚

D : 板の曲げ剛性

q : 水圧

σ_s : 膜応力

σ_Y : 降伏応力

E : ヤング率

ν : ポアソン比

中央点のモーメントの釣合 (第 2・2・2 図) より

$$\frac{b^2 q}{8} = \sigma_s h w_m - m_0 + m_{\frac{1}{2}} \quad (2 \cdot 2 \cdot 1)$$

ただし m_0 : 端部のモーメント

$m_{\frac{1}{2}}$: 中央部のモーメント

であつて, 弾性限内にあるときは

$$m = -D \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right) \quad (2 \cdot 2 \cdot 2)$$

Plastic Hinge となつたときは

$$|m| = \frac{1}{4} h^2 \sigma_Y \left[1 - \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_Y} \right)^2 \right] \quad (2 \cdot 2 \cdot 3)$$

である。Plastic Hinge でのモーメントの連続の条件は

$$\frac{1}{4} h^2 \sigma_Y \left[1 - \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_Y} \right)^2 \right] = D \left| \frac{d^2 w}{dx^2} \right|_{x=0 \text{ or } b/2} \quad (2 \cdot 2 \cdot 4)$$

で与えられる。

一方端部および中央部での Separation は (2・1・3) より

$$\epsilon_{0 \text{ or } b/2} = \frac{h}{2} \frac{\sigma_s}{\sigma_Y} \left(\frac{dw}{dx} \right)_{x=0 \text{ or } b/2} \quad (2 \cdot 2 \cdot 5)$$

となるから膜応力と撓み形の関係は

$$\frac{1}{2} \int_0^{b/2} \left(\frac{dw}{dx} \right)^2 dx - \frac{h}{2} \frac{\sigma_s}{\sigma_Y} \left[\left(\frac{dw}{dx} \right)_0 + \left(\frac{dw}{dx} \right)_{b/2} \right] = \frac{1-\nu^2}{E} \cdot \sigma_s \cdot \frac{b}{2} \quad (2 \cdot 2 \cdot 6)$$

となる。

以上の各式を次に示す無次元化した量記号で書きあらためると (2・2・7) より (2・2・10) までの基礎方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{x}{b} &= X & \frac{\sigma_s}{\sigma_Y} &= \mu \\ \frac{w}{h} &= W & \frac{q}{q_p} &= Q \\ \frac{w_m}{h} &= W_m & \frac{m}{m_p} &= M \\ \frac{hb^2}{4D} \sigma_Y &= F & q_p &= 4 \left(\frac{h}{b} \right)^2 \sigma_Y \end{aligned}$$

水圧と中央撓みの関係式

$$Q = 2 \mu W_m + \frac{M_{1/2} - M_0}{2} \quad (2 \cdot 2 \cdot 7)$$

弾性域でのモーメント

$$M = -\frac{1}{F} \left(\frac{d^2 W}{dX^2} \right) \quad (2.2.8)$$

Plastic Hinge のモーメント

$$|M_0 \text{ or } 1/2| = (1 - \mu^2) = \frac{1}{F} \left| \frac{d^2 W}{dX^2} \right|_0 \text{ or } 1/2 \quad (2.2.9)$$

膜力と撓み形の関係式

$$\mu = \frac{3 \int_0^{1/2} \left(\frac{dW}{dX} \right)^2 dX}{F + 3 \left(\frac{dW}{dX} \right)_0 + 3 \left(\frac{dW}{dX} \right)_{1/2}} \quad (2.2.10)$$

2.3 端部に Plastic Hinge を生ずるまでの弾性範囲内

撓み形を (2.1.4) を無次元化した

$$W = 16 W_{m1} X^2 (1 - X)^2 \quad (2.3.1)$$

のように仮定する。 W_{m1} は中央撓みに対応する無次元量である。端部、中央部とも弾性域にあるため (2.2.8) より

$$M_0 = -\frac{32}{F} W_{m1}$$

$$M_{1/2} = \frac{16}{F} W_{m1}$$

となるので (2.2.7) より水圧と中央撓みの関係は

$$Q = 2\mu W_{m1} + \frac{24}{F} W_{m1} \quad (2.3.2)$$

で与えられ、中央撓みと膜力の関係は (2.3.1) と (2.2.10) より

$$\mu = \frac{256}{35} \frac{W_{m1}^2}{F} \quad (2.3.3)$$

となる。上の2式より中央撓みと水圧の関係が求められる。この水圧～撓み関係式はさきに J. Clarkson 氏²⁾ が荷重を中央撓みの冪級数に展開して求めた解と一致している。

2.4 端部が Plastic Hinge となるとき

この条件は (2.3.2), (2.3.3) のほかに (2.2.9) より

$$1 - \mu^2 = \frac{1}{F} \left| \frac{d^2 W}{dX^2} \right|_0 \quad (2.4.1)$$

が満足されねばならない。

(2.4.1) に (2.3.1) を代入して計算した結果は

$$1 - \mu_1^2 = \frac{32}{F} W_1 \quad (2.4.2)$$

となる。 μ_1 , W_1 は端部に Plastic Hinge を生ずる時の膜力と中央撓みに対応する無次元量で (2.3.2), (2.3.3) より

$$Q_1 = 2\mu_1 W_1 + \frac{24}{F} W_1 \quad (2.4.3)$$

$$\mu_1 = \frac{256}{35} \frac{W_1^2}{F} \quad (2.4.4)$$

が成立するゆえこれら3式よりこのときの水圧と中央撓みが決定する。 F の各値に対する Q_1 , W_1 の値を「図表-1」に示す。

2.5 端部に Plastic Hinge ができてから中央部に Plastic Hinge ができるまで

撓み形は (2.1.5) を無次元化して

$$W = 16 W_{m1} X^2 (1 - X)^2 + 4 W_{m2} X (1 - X) \quad (2.5.1)$$

と仮定する。中央撓みは

$$W_m = W_{m1} + W_{m2} \quad (2.5.2)$$

で与えられる。

中央部は弾性域にあるゆえ (2.2.8) より

$$M_{1/2} = \frac{16 W_{m1} + 8 W_{m2}}{F} \quad (2.5.3)$$

端部は Plastic Hinge となつているため (2.2.9) より

$$|M_0| = 1 - \mu^2 = \frac{1}{F} \left| \frac{d^2 W}{dX^2} \right|_0 \quad (2.5.4)$$

が満足されねばならない。(2.5.1) を代入して計算すると

$$1 - \mu^2 = \frac{32 W_{m1} - 8 W_{m2}}{F} \quad (2.5.5)$$

となる。従つて水圧と中央撓みの関係式は (2.2.7) より

$$Q = 2\mu(W_{m1} + W_{m2}) + \frac{24}{F} W_{m1} \quad (2.5.6)$$

また膜力は (2.2.10) より

$$\mu = \frac{\frac{256}{35} W_{m1}^2 + \frac{64}{5} W_{m1} W_{m2} + 8 W_{m2}^2}{F + 12 W_{m2}} \quad (2.5.7)$$

として求められる。(2.5.5), (2.5.6), (2.5.7) より水圧と中央撓みの関係がきまるが計算がやや煩雑になるので F の各値に対して W_{m1} と W_{m2} の関係を「図表-2」に示しておく。「図表-2」を用いれば W_{m2} のある値に対して W_{m1} が決まるゆえ (2.5.7) と (2.5.6) より Q を求めることができる。

2.6 中央に Plastic Hinge を生ずるとき

この条件は (2.5.5), (2.5.6), (2.5.7) のほかに (2.2.9) より

$$|M_{1/2}| = 1 - \mu^2 = \frac{1}{F} \left| \frac{d^2 W}{dX^2} \right|_{1/2} \quad (2.6.1)$$

が満足される必要がある。(2.6.1) に (2.5.1) を代入して計算した結果は

$$1 - \mu^2 = \frac{16 W_{m1} + 8 W_{m2}}{F} \quad (2.6.2)$$

となり (2.5.5), (2.5.2) とより

$$W_{m1} = W_{m2} = \frac{W_2}{2} \quad (2.6.3)$$

となる。 W_2 はこの時の中央撓みに対応する無次元量であり、同様に μ_2 , Q_2 をそれぞれこのときの膜力および水圧に対応する無次元量とすると上式を用いて (2.5.5), (2.5.6), (2.5.7) は

$$1 - \mu_2^2 = \frac{12}{F} W_2 \quad (2.6.4)$$

$$\mu_2 = \frac{\frac{246}{35} W_2^2}{F + 6 W_2} \quad (2.6.5)$$

$$Q_2 = 2\mu_2 W_2 + \frac{12}{F} W_2 \quad (2.6.6)$$

となり、この式より Q_2 および W_2 が求められる。 F の各値に対する Q_2 , W_2 の値を「図表-1」に示す。

2.7 中央に Plastic Hinge を生じてより塑性膜状態に入るまで

撓み形は (2.1.6) を無次元化した

$$W = 16 W_{m1} X^2 (1-X)^2 + 4 W_{m2} X (1-X) + 2 W_{m3} X \quad (2.7.1)$$

のように仮定する。中央撓みは

$$W_m = W_{m1} + W_{m2} + W_{m3} \quad (2.7.2)$$

で与えられる。端部、中央部とも Plastic Hinge となつているから (2.2.9) より

$$M_0 = -(1 - \mu^2) = -\frac{1}{F} \left| \frac{d^2 W}{dX^2} \right|_0$$

$$M_{1/2} = (1 - \mu^2) = \frac{1}{F} \left| \frac{d^2 W}{dX^2} \right|_{1/2}$$

となり (2.7.1) を代人すれば

$$W_{m1} = W_{m2} \quad (2.7.3)$$

$$1 - \mu^2 = \frac{24}{F} W_{m2} \quad (2.7.4)$$

が得られる。従つて水圧と中央撓みの関係式は

$$Q = 2\mu(W_{m1} + W_{m2} + W_{m3}) + \frac{24}{F} W_{m2} \quad (2.7.5)$$

また膜力は (2.7.1) と (2.2.10) より

$$\mu = \frac{\frac{985}{35} W_{m2}^2 + 18 W_{m2} W_{m3} + 6 W_{m3}^2}{F + 12 W_{m2} + 12 W_{m3}} \quad (2.7.6)$$

となる。(2.7.4), (2.7.5), (2.7.6) の3式より水圧と中央撓み関係が求められる。2.5) 節の場合と同様 F の各値に対する W_{m3} と W_{m2} の関係を「図表-3」に与えておく。

2.8 塑性膜状態に入るとき

これは前節の諸式で $\mu=1$ となる状態であるので (2.7.3), (2.7.4) より

$$W_{m1} = W_{m2} = 0 \quad (2.8.1)$$

(2.7.5) より

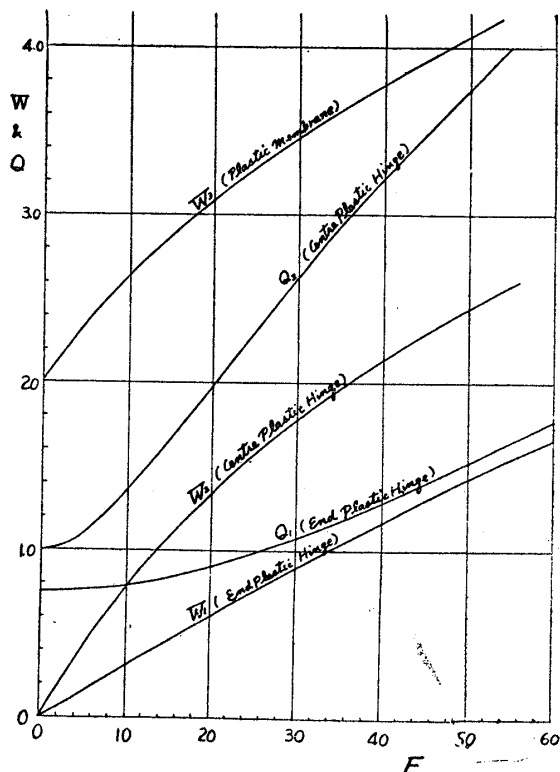
$$Q_3 = 2W_3 \quad (2.8.2)$$

ただし Q_3 , W_3 は塑性膜状態に入るときの水圧および中央撓みを与える無次元量である。

さらに (2.7.6) より

$$W_3 = 1 + \sqrt{1 + \frac{F}{6}} \quad (2.8.3)$$

となり, Q_3 , W_3 が決定する。 F の各値に対する W_3 の値を「図表-1」に示す。



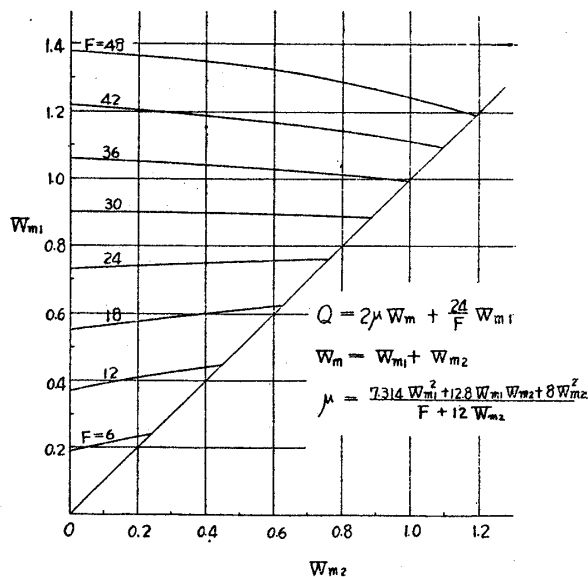
図表-1

2.9 塑性膜状態に入った後

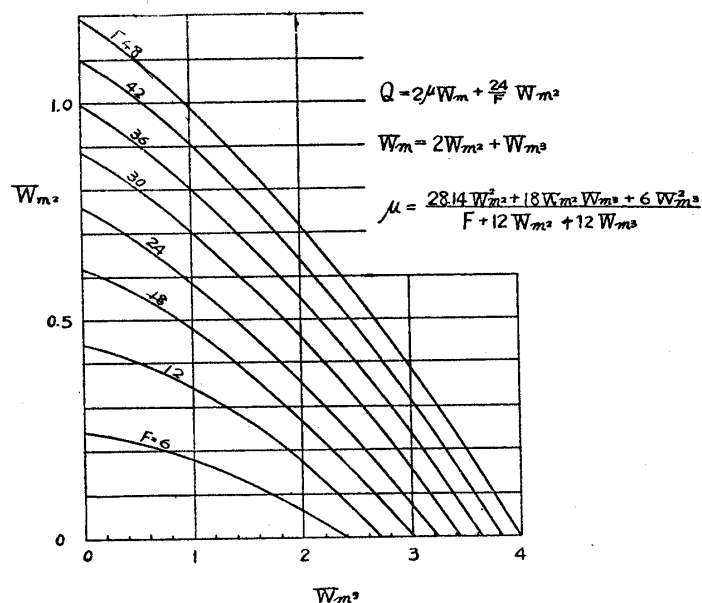
この状態ではいたる所モーメントの値は0であり, $\mu=1$ の状態にある, 従つて (2.2.7) より

$$Q = 2W_m \quad (2.9.1)$$

となる。



図表-2 端部にプラスチックヒンジができてから中央にプラスチックヒンジができるまで



図表-3 中央部にプラスチックヒンジができてから塑性膜状態に入るまで

3 実 験

試験板は水圧を受ける部分が一辺 900mm の正方形でこれに下方より水圧を加えた時 300mm×900mm の辺長比3なる連続した3パネルとして変形するような特別の試験装置を製作して実験を行なった。

このようにすると各パネルは辺長比3なるため、ほとんど無限長矩形板とみなして良く、また3パネルとも同

第 3-1-1 表 試験板の種類と個数

板厚 材質	M.S.	H.T.	2H
3.2 mm	—	1	—
6	1	1	1
10	—	1	—

第 3-1-2 表 試験板諸元

試験板名称	ヤング率 E %/cm ²	降伏点 σ _y %/mm ²	引張強さ σ _b %/mm ²	伸び率 φ%	板厚 t mm
H.T.-3.2	2.06×10 ⁶	48.5	59.1	27.6	3.49
M.S.-6	2.03×10 ⁶	38.6	50.2	28.4	6.34
H.T.-6	2.24×10 ⁶	40.8	55.1	24.5	6.16
2H-6	2.25×10 ⁶	61.1	67.5	15.4	7.00
H.T.-10	2.23×10 ⁶	40.1	54.5	26.9	10.23

第 3-3-1 表 破壊試験結果

名 稱	破壊圧力 kg/cm ²	破壊時中央パネル 中央撓み mm	破壊箇所
H.T.-3.2	40	26.1	
M.S.-6	65	28.7	
H.T.-6	50	21.2	
2H-6	(83) ^{注2}	(23.0) ^{注2}	
H.T.-10	86	21.3	

じ寸法で同時に水圧を受けるため同じ変形を生じ中央パネルの周囲ではほとんど固定に近い条件が得られる。中央パネルの各点について撓みと残留撓みと歪の計測を行ない、試験板は最終的には破断させてそのときの破壊圧力を計測した。

3.1 試 験 板

試験板の材質は軟鋼 (M.S.) 高張力鋼 (H.T.) 調質高張力鋼 (2H) の3種とし板厚は 3.2mm, 6mm, 10mm の3種を選んだ。これらの組合せおよび個数は第 3-1-1 表に示すごとくである。

また試験板の実際の板厚と同一母材より採取した引張試験片による引張試験の結果は第 3-1-2 表のごとくである。

注 1. 矢印は鋼板のロール方向を示す。

注 2. 2H-6 試験板は 83 kg/cm² で破壊せずパッキン部よりの水洩れのため実験中止。3週間後の再試験においては 72 kg/cm² で側パネルの短辺で破断した。中央撓みは 83 kg/cm² 未破壊時のものを記す。

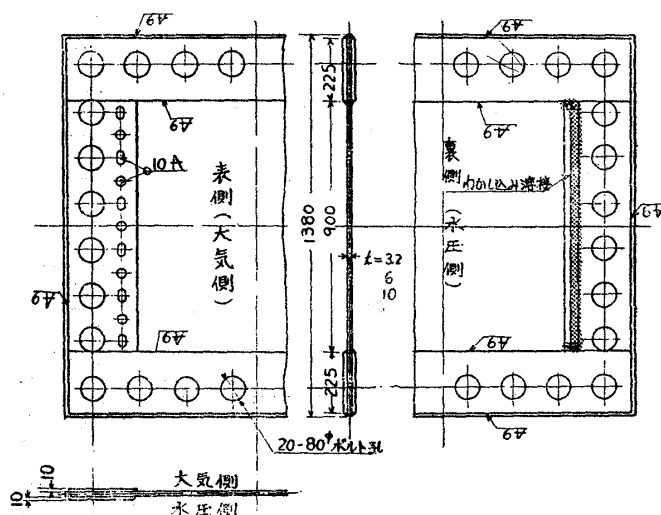
試験板の形状および寸法は第3-1-1図に示すように一辺が1380mmの正方形鋼板の中央900mm角を残して周囲を厚さ10mmの鋼板で表裏補強してある。そして補強材と試験材との溶接部で破断せぬよう特別に設計されている。

3.2 試験治具および計測方法

第3-2-1図に示すような特別の試験治具を製作し水圧は手動式テストポンプ(最高圧力500kg/cm²)を使用して加えた。また試験板は変形によって周囲が内側に移動するのを防ぐため、ボルト締付後試験板周囲を直接試験治具に溶接した。

計測は中央パネル各点についての撓みと試験板両面の歪のほかに、特定の圧力より0圧力に戻した時の残留撓みについて行なった。

撓みおよび残留撓の計測は第3-2-2図に示す



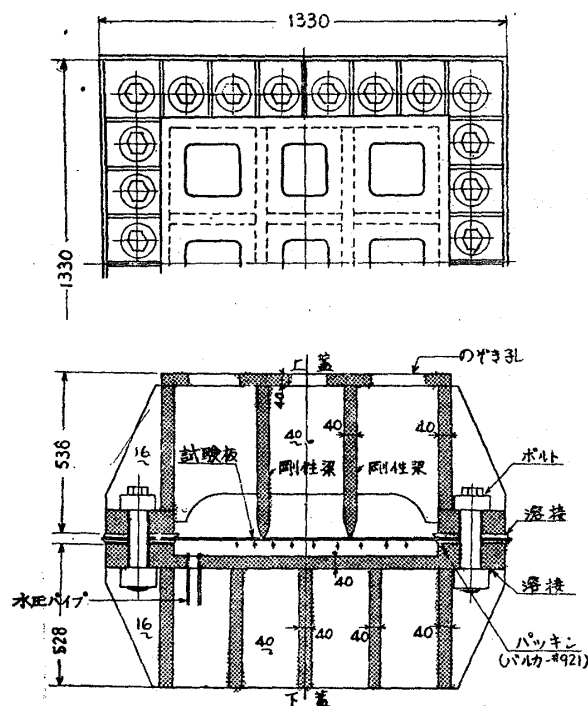
第 3.1.1 図 試験板の形状および寸法

ごとく試験板上に垂直に立てたアルミ製の棒の先端の垂直移動距りをダイヤルゲージで読み取ると同時に中央点については巻線型電気抵抗変位計を併用してX-Y軸記録計に水圧とともに自記させて圧力～撓み曲線を求めた。

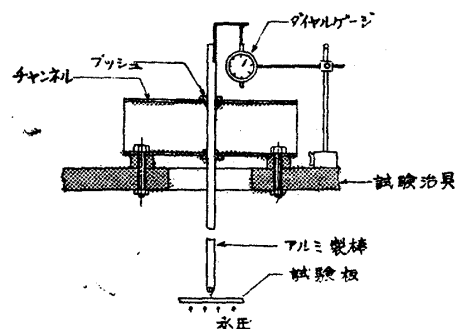
また水中に貼付せる歪計については絶縁抵抗のおちぬよう特別に処理をするとともに、ダメージージを同じく水中に入れて温度および圧力の補正を行なつた。

3.3 実験結果および考察

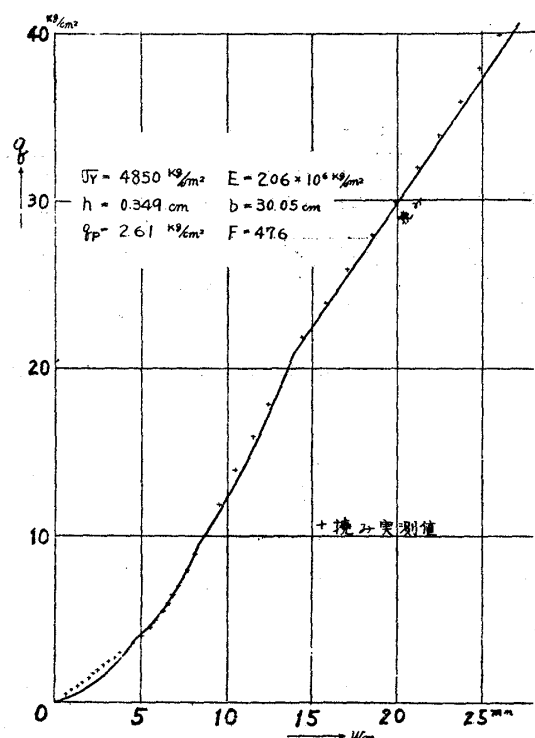
水圧とパネル中央撓みの関係は各試験板とも同じ傾



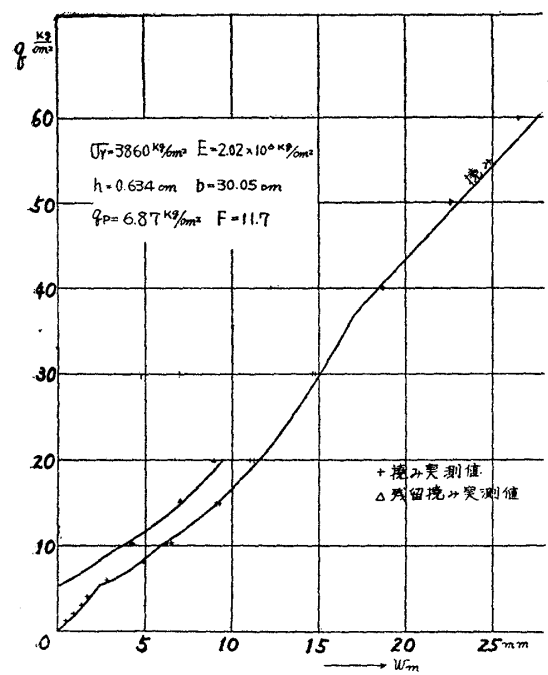
第 3.2.1 図 試 験 治 具



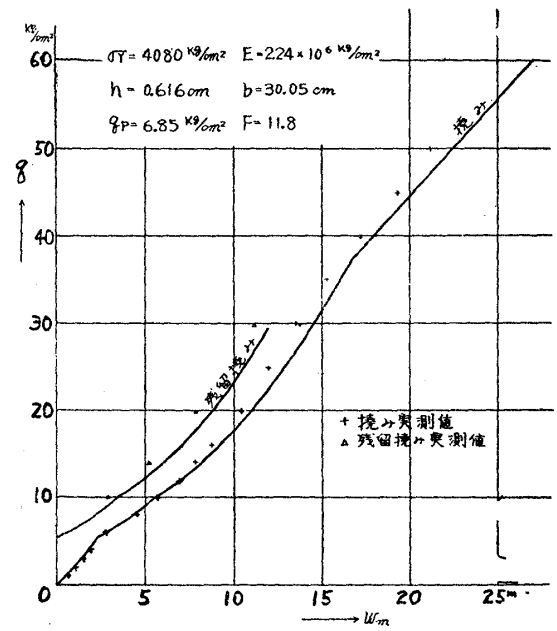
第 3.2.2 図 撓み計測装置



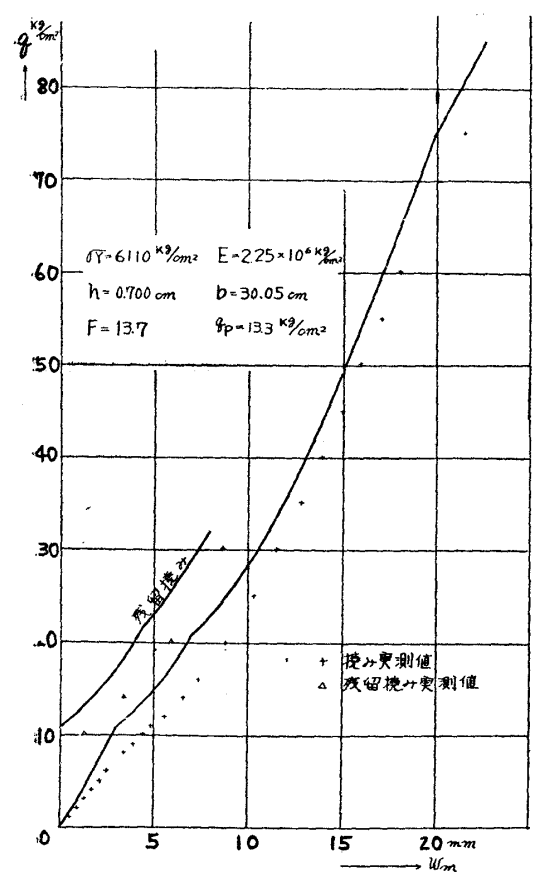
第 3.3.1 図 H・T-3.2 理論曲線と実験結果



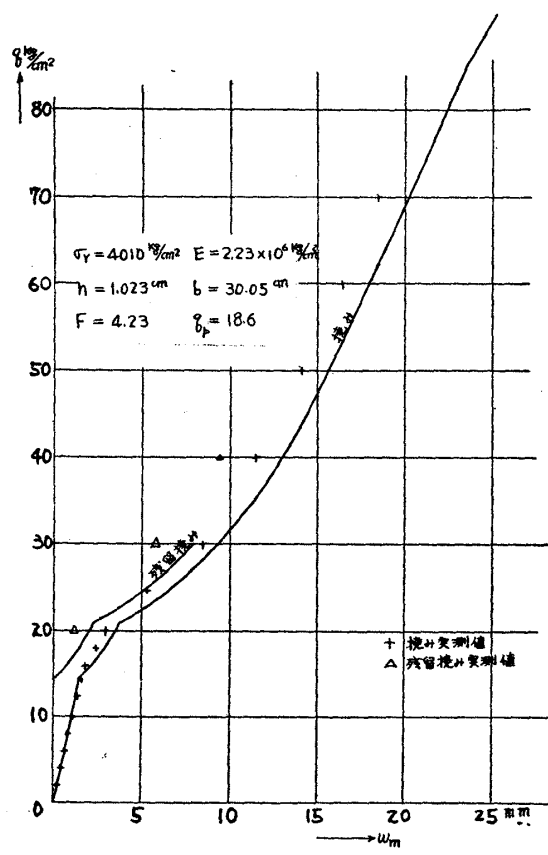
第 3.3.2 図 MS-6 理論曲線と実験結果



第 3.3.3 図 HT-6 理論曲線と実験結果



第 3.3.4 図 2H-6 理論曲線と実験結果



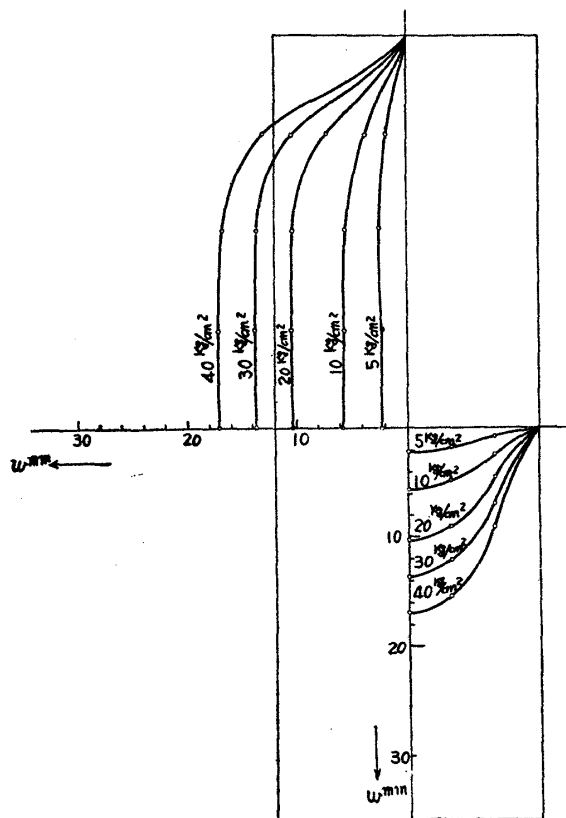
第 3.3.5 図 HT-10 理論曲線と実験結果

向を示し、端部のモーメントが塑性モーメントに達すると思われる水圧で撓みが若干増加しているが、その後は再び膜力の影響で見かけ上の剛性を増し破断直前まで撓みが急増することはない。

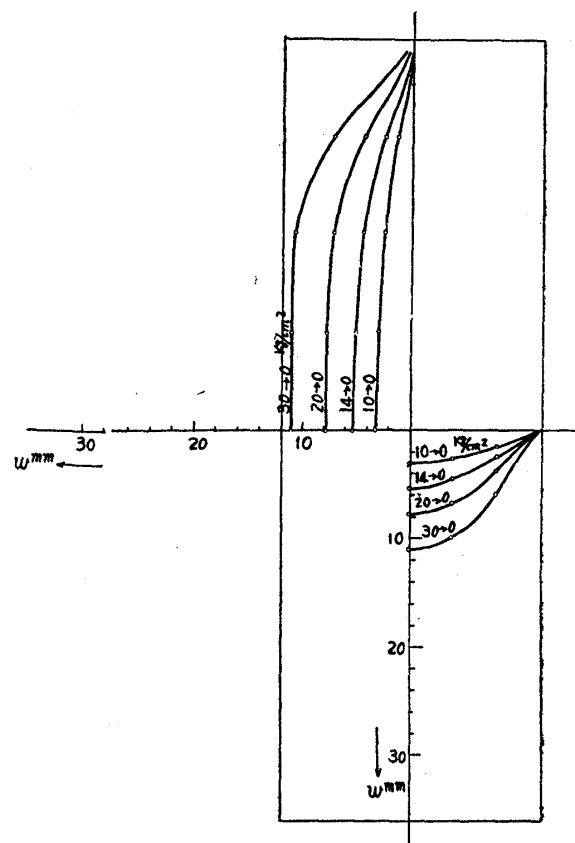
中央撓みの計測結果を前章の計算法による理論値と比較してみると第3-3-1図から第3-3-5図までのようになる。

H. T. -3. 2, M. S. -6, H. T. -6 の各試験板については実験値と理論値が非常に良く一致しているが、H. T. -10 試験板の場合は同一圧力に対する撓みの実験値が理論値より若干少な目にており、2H-6 試験板の場合には逆に実験値の方が大きくでている。

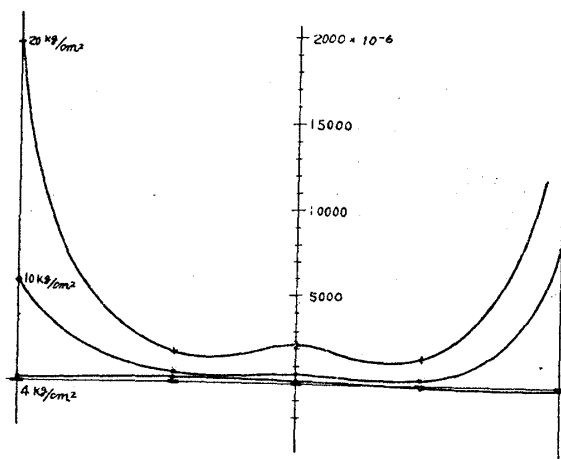
H. T. -10 試験板の場合実験値は弾性限をこえる付近より理論値からはなれているがその誤差は10% 前後にとどまっている。しかし 2H-6 試験板の場合は弾性範囲内ですでに理論値より離れ、撓みの増加が大きい。この



第 3-3-6 図 H.T.-6 撓み形状



第 3-3-7 図 H.T.-6 残留撓み形状



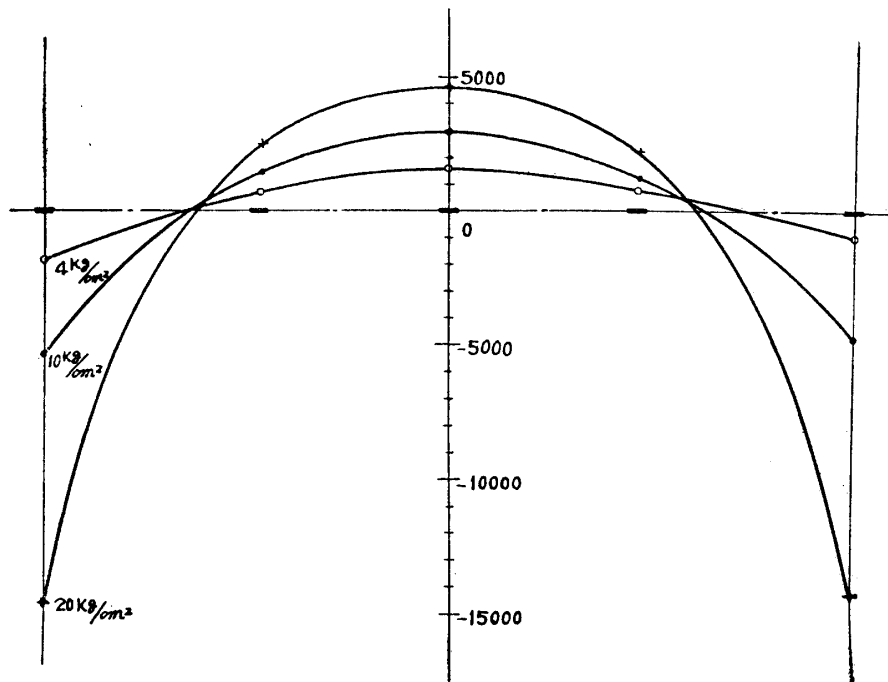
第 3-3-6 図 H.T.-6 膜力による歪分布

原因は明確には指摘できないが弾性限をこえると実験値と理論値の差は少なくなっており、圧力 30 kg/cm² 以上では誤差は5%程度である。

残留撓みの理論曲線として全撓みより端部に Plastic Hinge を生ずるまでの弾性撓みを差引いたものを画いてあるが、撓みの理論値と一致しているものについては残留撓みもこの理論曲線に一致する傾向が見られる。

H. T. -6 試験板の場合について各水圧を加えた状態での撓み形状と各水圧より0圧にもどしたときの残留撓み形状を示すと、第3-3-6図、第3-3-7図のようになる。

これをみると縦方向の撓み形状の中央付近は平坦であり、辺長比が3以上の場合に対して帯板の理論が適用



第 3-3-9 図 HT-6 曲げによる歪分布

できることがわかる。

また同じく H. T. 6 試験板の場合について中央パネルの中央部横方向について計測した試験板表裏の歪より

$$\text{膜力による歪} = \frac{\text{大気側の表面歪} + \text{水圧側の表面歪}}{2}$$

$$\text{曲げによる歪} = \frac{\text{大気側の表面歪} - \text{水圧側の表面歪}}{2}$$

として歪分布状態を解析したものを第 3-3-8 図、第 3-3-9 図に示す。

これによると端部においては引張歪、曲げ歪とも非常に大きくなるのに対して中央部では圧力が増しても歪はあまり増加していない。また撓み形状を見ても中央部に Plastic Hinge を生じていると思われず、このように膜力をとまなう場合には実際には中央部に Plastic Hinge を生ずることなくむしろ弾性膜と塑性膜の重なった状態で塑性膜の厚さが増加して行くと云った感じに近い。しかし最大撓みのみを必要とする場合にはこのような弾塑性体の問題を中央の Plastic Hinge での回転と Separation で置換えることにより十分の精度で計算されることがわかる。

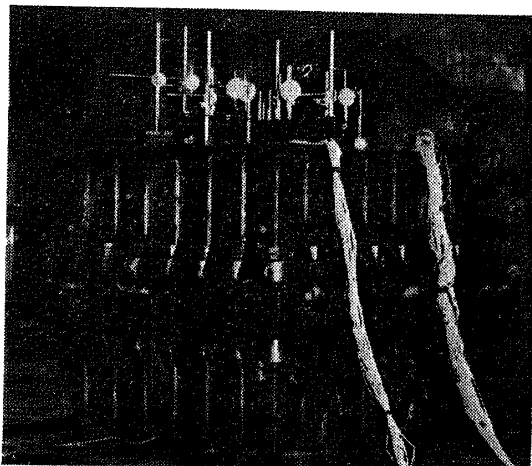


写真-1 試験装置

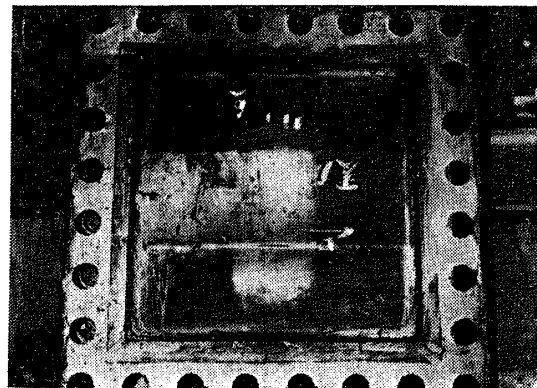


写真-2 試験終了後の試験板の状況

その他の試験板についての撓み形状、残留撓み形状、歪分布状態等の計測結果もほとんど同じであるので省略する。

各試験板の破壊圧力、破断個所およびそのとき中央パネルの中心の撓みは第3-3-1表に示すごとくであつた。

破壊圧力は静的引張試験結果のみからでは推定できない程度にばらついており、これは試験板がある一定の圧力以上に負荷されると工作法による欠陥、あるいは材料固有の欠陥等の影響が大きくて常に破壊の危険にさらされる状態になるためと考えられる。本実験結果のみからでは試験板数が少ないためこのような破壊圧力の決定は困難であつた。試験治具の外観と試験終了後の試験板の状況の一例を写真に示す。

4. 結 言

水圧を受ける矩形平板が周辺で固定されて面内方向への移動が許されない場合には、変形の進行とともに膜力が増加し本論文の理論および実験が示すように崩壊現象は現われない、従つてこのような場合設計の基準となるのは崩壊圧力でなく実際に破断の生ずる破壊圧力であろう。この破壊圧力については本実験のみでは不十分であり今後の研究にまつ所が大きい。しかし実際の構造物においては破壊に対する安全性が保障されていると同時に最大撓みあるいは最大残留撓みが制限される場合も少なくないので、このような場合の検討に対して本論文に示した理論を用いることができる。

最後にこの実験研究全般にわたつて種々御指導をいただいた防衛庁技術研究本部緒明副開発官、運輸技術研究所船舶構造部秋田部長、同じく溶接部楠田主任研究員に対し厚く御礼申し上げるとともに、理論につき御討論をいただいた東大山本助教授、さらに H. T.-3.2 試験板用鋼板を提供していただいた川崎製鉄株式会社殿に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) “垂直荷重をうける板の塑性設計について” 楠田忠雄 造船協会論文集 第107号
- 2) “A New Approach to the Design of Plates to withstand Lateral Pressure.”
J. Clarkson Trans I. N. A. 1956.
- 3) “Ship Plating loaded beyond the Elastic Limits.” A. G. Young Trans I. N. A. 1959.