

(昭和30年11月造船協会秋季講演会に於て講演)

一層盛隅肉溶接の角変形について*

正員 工 学 士 雲 瀬 富 三 郎**

正員 工 学 士 吉 田 兎 四 郎***

正員 工 学 士 阿 部 武****

正員 工 学 士 尾 上 久 浩****

Prediction of Angular Distortion Caused by One Pass Fillet Welding

By Tomisaburo, Kumose, *Kogakushi, Member*Toshiro Yoshida, *Kogakushi, Member*Takeshi Abe, *Kogakushi, Member*and Hisahiro Onoue, *Kogakushi, Member*

Abstract

It would be of appreciable convenience to know prior to undertaking a project of welding a structure the magnitude of the potential angular distortion caused by horizontal fillet welds.

This research shows experimental values of angular distortion caused by one pass fillet welding. Material used were all shipbuilding stock of mild steel plating thickness ranging between six and twenty millimetres, and welded under various conditions using leg length between six and ten millimeters. Testpieces totaled three hundred. The magnitude of free angular distortion caused by one pass fillet welding was measured and maximum value of angular distortion was found when flange thickness ranged between ten and twelve millimetres in a tee joint.

From the viewpoint of ship welding application, the co-authors, through this research, obtained material to predict quantities of free angular distortion caused by one pass fillet welding done with AC arc welders under conditions most applicable to shipyard practice (plate thickness and leg length), and further, material was sought to determine quantities of plastic pre-strain and elastic pre-strain in view of avoiding such distortion. Analytical study on formation of angular distortion was included also.

緒 言

造船工事に關係する溶接の中、下向隅肉溶接の占める割合は非常に多く、下向隅肉溶接の能率を向上させることは全溶接工事の能率向上に非常に大きな役割を持つものである。このような見地から最近は大径棒で溶接速度の速い One Pass Fillet 法或いは Deep Fillet 法が実用化されている。又一方これらの溶接法に適した溶接棒はほとんど接触溶接ができるようになっていたため溶接技術として高度の習熟を要さない。このように一層盛でかなり大きな脚長の溶接ができるようになると隅肉溶接による角変形量を予知できる資料も普遍性を持つたものになつてくる。角変形に関する資料は従来も数多く発表されているが大部分が多層盛で溶接条件がそれぞれ異

* 原稿受付、昭和30年7月14日

** Chief, Hull Section, Repair Department, Yokohama Shipyard and Engine Works, Mitsubishi Nippon Heavy Industries.

*** Chief, Riveting and Welding Shop, Shipbuilding Department, same firm.

**** Welding Engineers, Welding Unit, Shipbuilding Department, same firm.

なるためにこれを直ちに工事に应用することができない状況である。角変形の予知と共に必要なのは塑性的初期変形（以後塑性逆ひずみと略称する）或いは弾性的初期撓み（以後弾性逆ひずみと略称する）を与えておくことによつて、溶接後の角変形をなくすものがあるがこれに関してはほとんど資料が発表されていないので本研究はこれらの見地より、主として造船工事への応用を対称として造船工事で頻繁に使用される範囲の板厚を有する軟鋼圧延板と溶接脚長を選び約 300 枚の試験材に対してこれを One Pass 法で溶接を行い自由角変形及び適正な塑性逆ひずみ量、弾性逆ひずみ量を見出した。又同時に角変形の発生機構を或る程度理論的に解析せんとしたものを次に示す。

自由角変形

I 型プレートガーダー或いは各種防撓材における tee 溶接等の隅肉溶接で発生する角変形はほとんど折線的である（これについては後程測定値を示す）が、これらの変形は溶接時その自重以外に外的拘束と考えられるものがない上、I 型プレート・ガーダーにおけるフランジ・プレートのようにほとんどその自重が角変形に影響を及ぼさない程度のものを自由角変形として取扱つて行くことにする。最近溶接船の船底に発生して問題になつた凹入事故もいわゆる瘡馬が原因となり、瘡馬の問題は結局角変形の問題から出発すべきであることは明らかである。本実験ではフランジプレートの板厚 6 mm から 20 mm の材料に対して溶接脚長 6~9 mm の隅肉溶接を施行した際に生じた自由角変形を対照として、Systematic に調べるもので結果として表わされた角変形量は実際の溶接工事に適用できるものであり、又船底凹入問題にも 1 つの示唆を与えるものと思われる。

1. 溶接及び角変形測定

試験材の寸法は Fig. 1 に示すようにフランジプレート 400×300mm, ウェブ 300×100×10mm でフランジ・プレートの板厚は 6, 10, 12, 14, 16, 20mm である。材質は全部 SS41 圧延軟鋼板、溶接はタセット MS 152, 6mmφ の棒による水平隅肉溶接で片面の隅肉溶接後、常温迄空冷した後残りの片面の溶接に移ることにした。

角変形量の測定には Fig. 2 に示すようなダイヤル・ゲージによるもので角変形量としてウェブ中心から 150mm の距離の位置における左右のフランジプレートの変移量の平均値を採用した。^{*} すなわち Fig. 1 において $\psi = \frac{S_1 + S_2}{2}$ の値をとり A-A', B-B', C-C', 上の ψ のそれぞれの平均値をもつて角変形量とした。極くわずかであるが溶接線方向の収縮によつて溶接線方向に曲り（縦曲り）が発生しているので中央の角変形 ψ として $\psi = \frac{B + B' - 2M}{2}$, をとつた。但し B, B', M はそれぞれ B, B', M 点におけるダイヤルゲージに現われた上下変位量である。

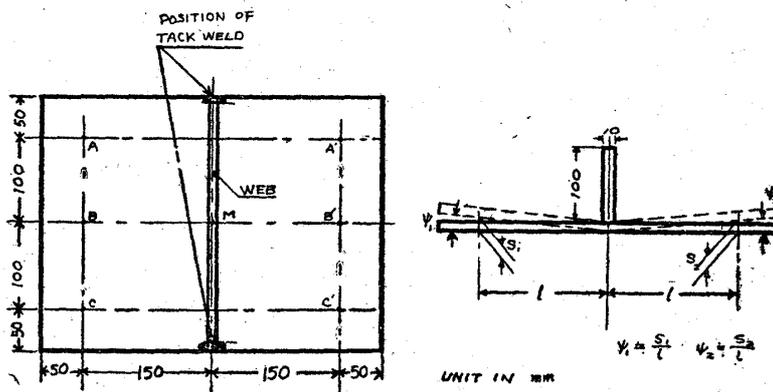


Fig. 1

Detail of testpiece dimensions. Positions of tack welds were adhered to throughout. Note that A, B, C, A', B', C' and M are locations of dial indicators for distortion readings.

2. 測定結果

本実験では得られたデータが直ちに工事に適用し易いように各板厚のものに対し溶接の脚長ごとに纏めた。従つて溶接速度は問題にせず溶接電流と溶接の脚長について角変形を求めるものである。

(1) 角変形の形状

Fig. 3 に示すように角変形は比較的簡単な折線的な曲りである。これは溶接の際に変形に影響する局部加熱が極めて狭い範囲であることを意味しており角変形に対する解析も溶接部の極く近傍のみに

* 角変形の形状の項で実測値が示しているように自由な角変形では溶接部の極く近傍のみ曲つているだけでそれ以外は元の板のままである。このため角変形の目安としてフランジプレートの上下の変移量を角変形量として採用できる。

ついて考えればよいことを示すものである。

(2) フランジ・プレートの板厚の影響

角変形に影響を及ぼす因子で最も重要なものの1つにフランジ・プレートの板厚がある。ここでは板厚 6, 10, 12, 14, 16, 20mm の 6 種類のものを選び 6, 7.5, 9 mm の 3 種で板厚を横軸にとつて角変形を整理すると Fig. 4 及び Fig. 5 のようになる。Fig. 4 は溶接電流 250 アンペア, Fig. 5 は 280 アンペアの場合である。ここで著しい特質として現われているのは板厚について角変形量の極大点が存在していることで従来、ややもすれば板厚が薄い程角変形も小さくなるだろうと考えられ勝ちであつたものを否定する結果が現われていることである。極大点はいずれも板厚 10~12 mm 程度のところに発生しているが、脚長が増加すると極大点は厚板の方へ移動するようである。

又、同一脚長を盛る場合大電流すなわち高速度の溶接になると板厚 10mm 以上の場合には角変形が増加し、反対に 6 mm 板厚の場合には減少するようで極大点の左右で全く反対の様相を呈することは興味ある事実である。

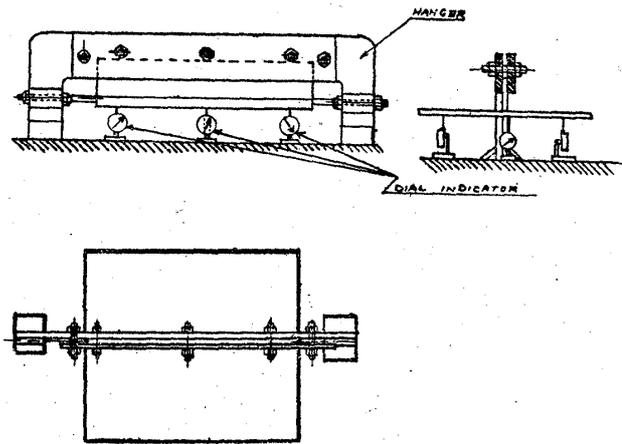


Fig. 2

Apparatus of measuring angular distortion caused by horizontal fillet welding for tee-joint welds. Note how dial indicators are placed under distorted flanges for distortion readings.

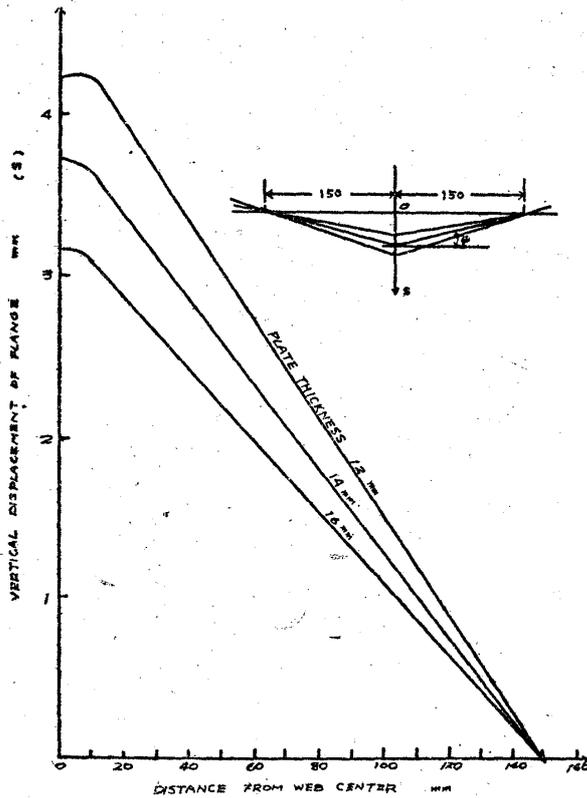


Fig. 3

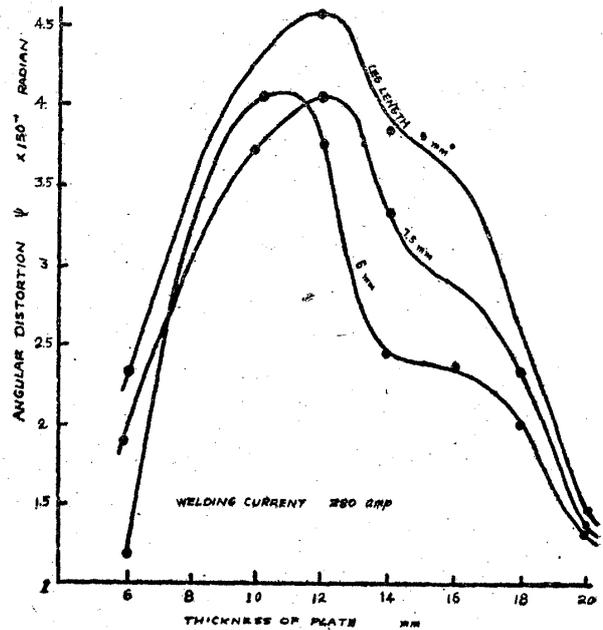


Fig. 4

Curves of angular distortion versus flange plate thickness. Maximum angular distortion appeared when plate thickness ranged between 10 and 12 mm and peaks were rather on the thicker side with increasing leg lengths.

角変形の防止

1. 塑性逆ひずみによる角変形の防止

隅肉溶接の角変形を防止する手段として塑性逆曲げを与えておく方法は実際にしばしば行われているが、従来系統的に調べられておらず工事の都度、簡単な試みによつて決定されていた。この方法は逆ひずみを与えておくことによつて溶接後角変形を全くなくそうとするもので、この実験は逆ひずみの適正値を求めると共に従来、自

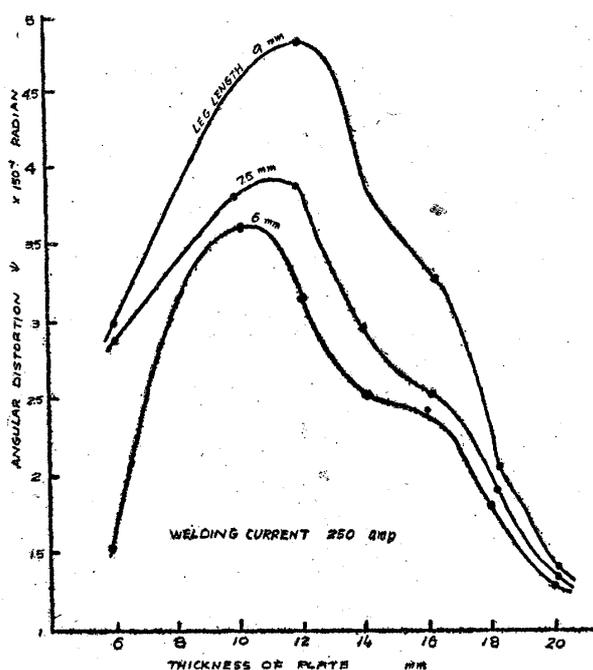


Fig. 5

100 パーセントの場合はすなわち自由角変形量だけ逆ひずみをとる必要があることを意味している。図によつて明らかなように脚長 7.5mm の場合はこの範囲の板厚のものに対しては自由角変形量だけ逆ひずみを与えておく必要があり脚長 6mm になると板厚が厚くなる程 η は 100 パーセント以下に下つてくる。例えば板厚 14mm ではやく 80 パーセントになる。

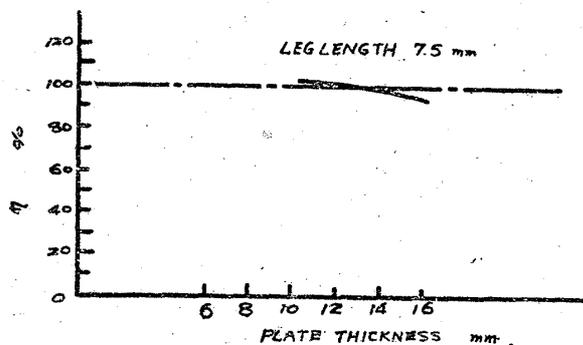


Fig. 6

Curve of plate thickness Versus η where η where $\eta = \frac{\psi_P}{\psi_F} \times 100\%$

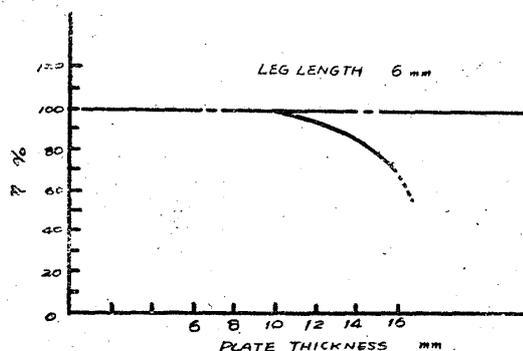


Fig. 7

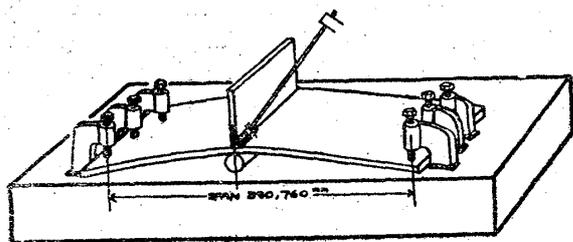


Fig. 8

Apparatus of welding tee joints put under elastic prestrain by bolting down both free ends a round bar stock was used for the liner.

由角変形量だけ逆曲げするものとされていたが、果してそれが妥当であるがどうかをも改めて調査するものである

(1) 溶接及び測定

自由角変形と比較するため試験片の寸法形状溶接方法等全く同一にしてある。脚長は 6, 7.5mm 板厚は 10, 12, 14, 16mm 溶接電流 250, 280 アンペアである。なお逆ひずみは水圧プレスで押曲げして施した。

(2) 結果

実験結果を図示すれば Fig. 6, Fig. 7 のようになる。すなわち同図は自由角変形の何パーセントの逆ひずみを与えることによつて角変形を全くなくすることができるかという事を示している。今自由角変形量を ψ_F 角変形を全く出させないための逆ひずみ量 (自由角変形と同じ測定法によつて測定された逆曲げの角変形量) を ψ_P とする。

$$\eta = \frac{\psi_P}{\psi_F} \times 100\% \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

2. 弾性逆ひずみによる角変形の防止

前述の塑性逆ひずみと共に一般に広く用いられる防止法に弾性逆ひずみを施す方法、すなわち弾性的に逆曲げして溶接中に拘束しておく方法があるがこれも従来経験からの推定に頼つて来たものが多いので色々な場合に適用し得るように、系統的に調査しなければならない必要にせまれてこの実験を行つたものである。

1. 溶接及び測定

Fig. 8 に示すような装置を製作、フランジプレートをボルト締めによつて拘束、フランジプレートの板端

が定盤に接触し始める位置に止めてある。(フランジ・プレート1をつの梁と考えた場合、中央集中荷重両端支持の型式になるようにしてある)。試験片の寸法は溶接方向の長さ 400mm で幅は 400mm と 800mm の2種類で板厚は 6~16mm 脚長 6, 7.5, 10mm の3種、溶接電流は 250 アンペアとし溶接後常温に冷却してから拘束を取除いて角変形を読んだ。Fig. 8 に示すように板幅の中央に丸棒のライナーを挿入、丸棒の直径を色々変化させることによつて適当なライナーの高さを求めて行つた。

2. 結果

適当なライナーの高さは脚長、板厚、拘束スパンの幅によつて変つてくるので今逆ひずみを施した際のフランジ・プレートに作用している縁応力を縦軸にとり板厚を横軸にとつてまとめてみると Fig. 9 のようにスパンの幅が異つても大体同一の直線関係が成立することが分る。又、この直線の勾配は各脚長のものについて略等しいとみることが出来る(この縁応力の計算は簡単な Beam Theory によるものである)

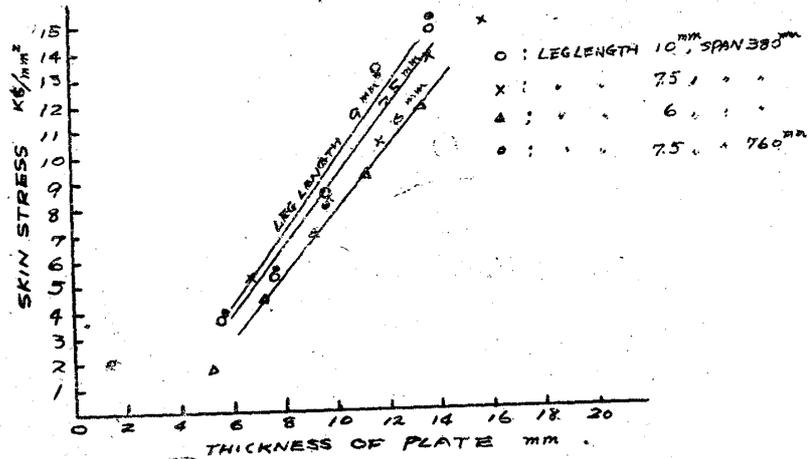


Fig. 9
Curves of skin stress Versus flange plate thickness

3. 弾性逆ひずみの応用例, その1

船体の平行部の側部外板に肋骨を溶接する場合、側壁に防撓材を何本も平行につける場合 (Fig. 10 参照) 等のように隅肉溶接が平行に並ぶ場合には Fig. 10 のように全体に逆ひずみを施すのが便利である。

本実験で縁応力をとつて纏めたが各隅肉溶接部に与える縁応力の一定になる条件はフランジプレートの逆ひずみとして円弧状の逆ひずみをとることが適正であることを意味している。

- 今板厚を $T(\text{mm})$
- 伸率を ϵ
- 弾性係数を $E(\text{kg/mm}^2)$
- 縁応力を $\sigma(\text{kg/mm}^2)$
- 曲率半径を $\rho(\text{m})$ とすると
- 逆曲げの曲率半径 $\rho(\text{m})$ は②式で表わされる。

$$\rho = \frac{ET}{2000\sigma} \dots\dots(2)$$

この関係式を利用してすでに側部外板と肋骨の溶接にしばしば利用、瘡馬を防止すると共に現場ブロックの据付を容易にし得ることは工費節減の方面からも好ましい手段である。外板製作以外にこの方法はコール・バンカー、ボックスガーター製作等に應用されいづれも実際の溶接施行においてもこの実験結果が適用できることが示された。Fig. 11 の写真はこの方法でコールバンカーの防撓材を隅肉溶接しているところを示す。

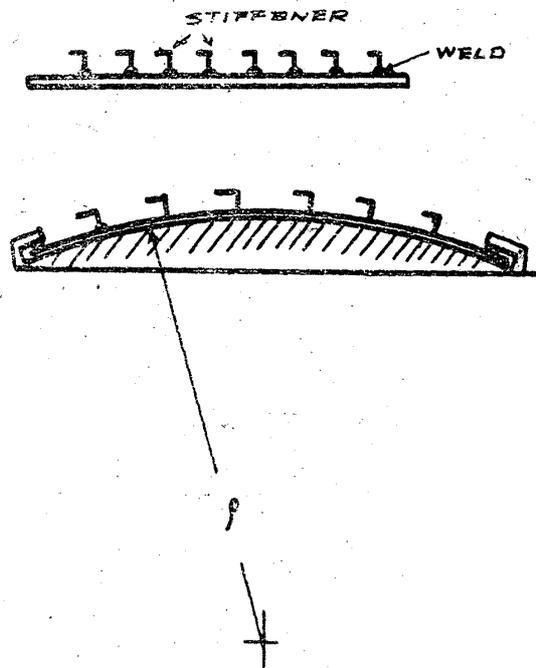


Fig. 10

4. 弾性逆ひずみの応用例, その2

弾性逆ひずみの実験で試験片に施したように各隅肉ごとに弾性逆ひずみを与えておく方法が実験にも行われて

いるが直ちに應用できるように次に計算図表を与えておく。すなわち
 l; スパン幅 mm

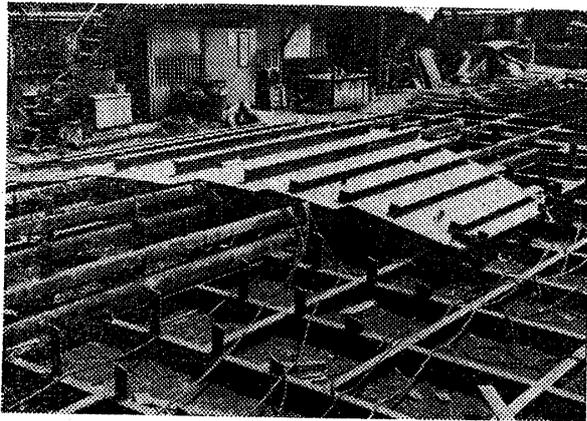


Fig. 11

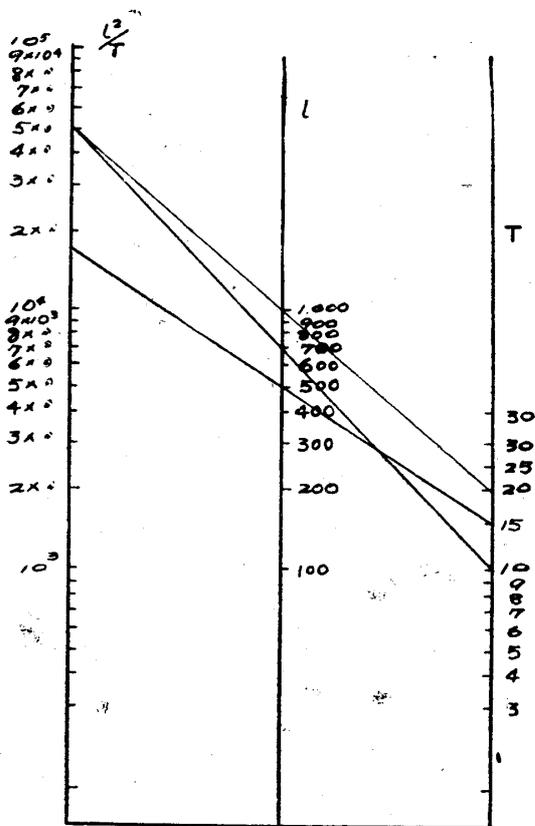


Fig. 12 (a) 図

T ; 板厚 mm
 H ; ライナーの高さ mm
 σ ; 縁応力 kg/mm²

とすると Fig. 12 (a) より e^2/T を求め一方施すべき縁応力は Fig. 9 より求められるので Fig. 12 (b) よりライナーの高さを決定し得る。この型式の弾性逆ひずみは最近盛に利用されている Pneumatic clamping Girder (Fig. 13) のような治具で拘束して得られ

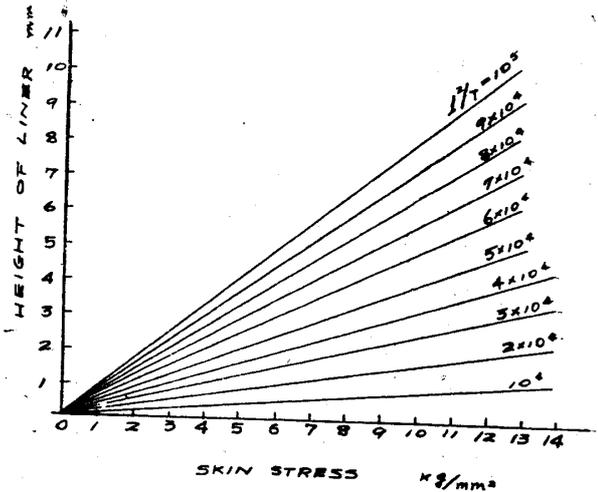


Fig. 12 (b) 図

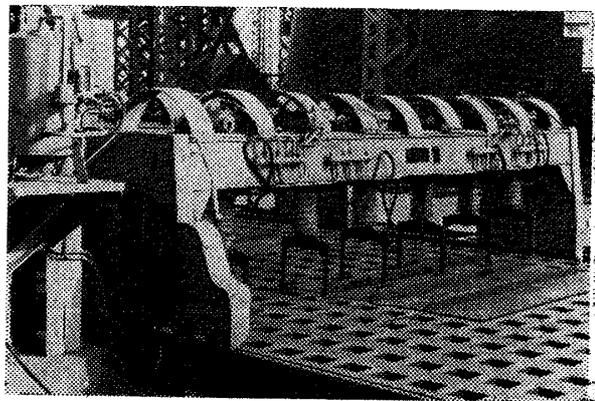


Fig. 13

Photograph of Pneumatic clamping Girder

るものに相当する。

角変形発生機構に関する考察

隅肉溶接の角変形は溶接部側及びその反対側の収縮の差によつて発生するもので、その角変形発生に及ぼす諸因子の中で最も重要なものはフランジ側の板厚、溶接脚長、溶接層数等である。従来、一般に溶接による変形は、溶着金属の収縮、それも凝固の際の収縮によつて発生するものと考えられる向が多く、従つて溶接による変形に対する解析も弾性論による簡単な Beam Theory 等で求めたものが多く、その実験のみに適用できる実験式を得られていてもこれを応用して広範囲に利用できず、又例えば本実験で見出された自由角変形の極大値の発生等溶接による変形を説明できないようなことが偶々発生してくる。このように適当でない観念で溶接の変形を推定して行くことは危険である。すなわち溶着金属の凝固の際体積減少は非常に小さいもので材料としてもほとんど応力を発生しない軟かい状態であつて実際にほとんど変形に影響を及ぼしていないと考えられる。

溶接の変形は必然的に起つてくる局部加熱によつて、各部分の温度履歴が異なるために変形を起し、残留応力を発生させていると解釈すべきで隅肉溶接の角変形については溶着金属を含めた板厚方向の温度分布（時間と共に変化する）が角変形に影響を及ぼすのである。更に進んで考えると溶接時の局部加熱によつて膨脹すべき部分が、剛性の大きい他の部分に拘束され自由な膨脹が許されず、塑性変形を起すが塑性変形の程度は概念的に考えて温度勾配が大なるもの程大であると考えられる。この塑性変形の程度（塑性変形をうけた広さと大きさ）が温度降下と共に1種の外力と仮定されその外力をうける材料自体の温度分布のある剛性形状を考えることによつて、溶接の変形を推定できる。変形を考える場合の温度は700°C程度以下の状態で考えるべきである。というのは材料が応力を受持ち得るのは700°C以下と一般に考えるのが妥当であるからである。

さて自由角変形の実験において、板厚が比較的薄い場合と板厚が厚い場合にいずれも角変形が小さく板厚について極大値が現われていることについて考察してみよう。

板厚6mmの場合溶接面と反対側の温度は最高700°C以上になり、角変形としての要素、板厚方向の温度差がほとんどなく角変形の発生に有効でなかつたものである。一方厚板になる程塑性変形をうけた領域が温度降下と共に収縮する際に、これを妨げる温度の低い部分が大きくなるので角変形が少いものとする。

今この問題を数式によつて考察するために角変形の発生に関して次に示す2つの因子によつて変形することとする。1、板厚方向の温度差による塑性変形の程度の大小、これは冷却時の収縮力に相当するので、これに相当する1つの外力を想定する。

2、或る範囲の板厚方向の温度分布を実測或いは計算によつて求め、1の仮想外力をうけるところの温度分布のある状態のフランジプレートを考える。

さてフランジプレートを梁と仮定し温度分布がある場合の塑性曲げの問題として考察する。又、材料の引張り圧縮による Stress-Strain diagram は同一形状を有するものと仮定する。

最高温度すなわち溶接面の温度は材料として応力を受持ち始める程度700°Cを採用、丁度その瞬間の裏面の温度は実験で求めた。この状態で曲モーメント M が働く場合完全塑性体として考えると塑性域では板厚方向の温度分布に相当する降伏応力分布をなすものである。計算の簡略化のため塑性域の応力分布を直線的とする。中性軸に近いところは当然弾性域であるが、これも厳密に考えると弾性率が温度によつて変るので直線分布を示さないが中性軸よりそれぞれ引張り、圧縮側の塑性域の応力まで直線分布であるとする。すなわち板厚方向の応力分布は Fig. 14 のようになる。（軸方向には温度勾配はないと仮定する）溶接裏面側の O 点を原点とし右方に引張り左方に圧縮側の応力を取り板厚方向に η 軸をとる。

今、 $\eta = S_1$: 引張り側における塑弾性域の境界

$\eta = S_2$; 圧縮側における " "

$\eta = e_1$; 中性軸の位置

σ_{S_1} ; S_1 点における降伏応力

σ_{S_2} ; S_2 点における降伏応力

h ; 板厚

Z ; 仮想梁の幅

曲 ; 曲げモーメント

σ_0 ; o 点の降伏応力

σ_w ; w 点の降伏応力

とおくと曲げモーメント M は次のように表わされる。

$$M = \int \sigma Z \eta d\eta = \int_0^{e_1} \sigma_t Z \eta d\eta + \int_{e_1}^h Z \sigma_c \eta d\eta \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{M}{Z} = \int_0^{S_2} \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \eta \right) \eta d\eta + \frac{(e_1 - S_1)^2}{3} \sigma_{S_1} + \frac{(S_2 - e_1)^2}{3} \sigma_{S_2} + \int_{S_2}^h \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \eta \right) \eta d\eta$$

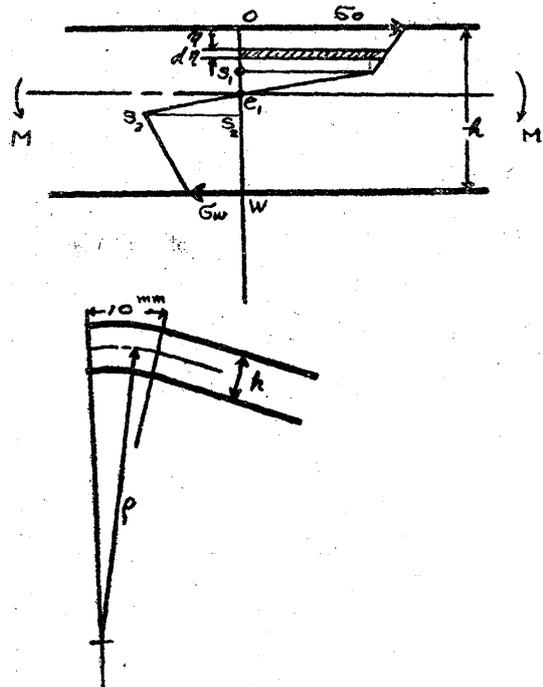


Fig. 14

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{\sigma_0}{2} \eta^2 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} \eta^3 \right]_{S_1}^{S_2} + \frac{(S_2 - e_1)^2}{3} \sigma_{S_2} + \left[\frac{\sigma \eta^2}{2} - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} \eta^3 \right]_{S_2}^h \\
 &= \frac{\sigma_0 S_1^2}{2} - \frac{(\sigma_0 - \sigma_w) S_1^3}{3h} + \frac{(e_1 - S_1)^2}{3} \sigma_{S_1} + \frac{(S_2 - e_1)^2}{3} \sigma_{S_2} + \frac{\sigma_0 h^2}{2} - \frac{(\sigma_0 - \sigma_w) h^2}{3} - \frac{\sigma_0 S_2^2}{2} + \frac{(\sigma_0 - \sigma_w) S_2^2}{3h} \\
 \frac{M}{Z} &= \frac{\sigma_0}{2} (S_1^2 - S_2^2) - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} (S_1^3 - S_2^3) + \frac{h^2}{6} (\sigma_0 + 2\sigma_w) + \frac{\sigma_{S_1}}{3} (e_1 - S_1)^2 + \frac{\sigma_{S_2}}{3} (S_2 - e_1)^2 \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

今、曲率半径を ρ 弾性限における伸率を ϵ , E_{S_1} , E_{S_2} をそれぞれ S_1 , S_2 の位置の材料の弾性率とすると

$$\frac{e_1 - S_1}{\rho} = \frac{\sigma_{S_1}}{E_{S_1}} = \epsilon \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{S_2 - e_1}{\rho} = \frac{\sigma_{S_2}}{E_{S_2}} = \epsilon \dots \dots \dots (4)$$

$\epsilon = 0.2\%$ として

$$e_1 - S_1 = S_2 - e_1 \dots \dots \dots (5)$$

$$S_1 = e_1 - 0.002\rho \dots \dots \dots (6)$$

$$S_2 = e_1 + 0.002\rho \dots \dots \dots (7)$$

$$\sigma_{S_1} = \sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} (e_1 - 0.002\rho) \dots (8)$$

$$\sigma_{S_2} = \sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} (e_1 + 0.002\rho) \dots (9)$$

(5), (9), (7), (8), (9) の関係を(2)式に代入整理すれば

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{Z} \left\{ \frac{\sigma_0}{2} (e_1 - 0.002\rho)^2 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} (e_1 - 0.002\rho)^3 - \frac{\sigma_0}{2} (e_1 + 0.002\rho)^2 + \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} (e_1 + 0.002\rho)^3 \right. \\
 &+ \left. \frac{h^2}{6} (\sigma_0 + 2\sigma_w) + \frac{1}{3} \left[\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} (e_1 - 0.002\rho) \right] (0.002\rho)^2 + \frac{1}{3} \left[\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} (e_1 + 0.002\rho) \right] (0.002\rho)^2 \right\} \\
 &\dots \dots \dots (10)
 \end{aligned}$$

一方釣合の条件より

$$\int \sigma_c Z d\eta = \int \sigma_e Z d\eta \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{即ち } Z \int_0^{S_1} \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \eta \right) d\eta + \frac{\sigma_{S_1} Z}{2} (e_1 - S_1) = Z \int_{S_2}^h \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \eta \right) d\eta + \frac{\sigma_{S_2} Z}{2} (S_2 - e_1) \dots \dots (12)$$

今計算の簡略化のために(12)式を(13)式のように置換える*

$$\int_0^{e_1} Z \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \eta \right) d\eta = \int_{e_1}^h Z \left(\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \eta \right) d\eta \dots \dots \dots (13)$$

(13)式を e_1 について解くと

$$e_1 = h \frac{\sigma_0 - \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_0^2 + \sigma_w^2)}}{\sigma_0 - \sigma_w} \dots \dots \dots (14)$$

角変形として変形の対照となるのは中心より 10mm である (変形の形状を円弧とする) とすると中心より 150mm のフランジプレートの上変位置 ψ (実験ではこの量を角変形量として実測している) は

$$\psi = \frac{1500}{\rho} \dots \dots \dots (15)$$

この関係を(12)式に代入すれば

$$\begin{aligned}
 M &= Z \left\{ \frac{\sigma_0}{2} \left(e_1 - \frac{3}{\psi} \right)^2 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} \left(e_1 - \frac{3}{\psi} \right)^3 - \frac{\sigma_0}{2} \left(e_1 + \frac{3}{\psi} \right)^2 + \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{3h} \left(e_1 + \frac{3}{\psi} \right)^3 + \frac{h^2}{6} (\sigma_0 + 2\sigma_w) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{3} \left[\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \left(e_1 - \frac{3}{\psi} \right) \right] \left(\frac{3}{\psi} \right)^2 + \frac{1}{3} \left[\sigma_0 - \frac{\sigma_0 - \sigma_w}{h} \left(e_1 + \frac{3}{\psi} \right) \right] \left(\frac{3}{\psi} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (16)
 \end{aligned}$$

* 後程、実際の角変形をこの式に apply すれば弾性域は塑性域に比べその範囲の広さは lower order であるので(2)式が近似的に(13)式に変わり得る。

溶接の w 点の温度が 700°C に降下した瞬間における 0 点の温度 (温度はいずれも熱電対と温度チョークによつて予備試験の際に測定された) 及び σ_0, σ_w, e_1 を示すと Table 1 のようになる。

Table 1

| 板厚 (mm) | $T_w(^{\circ}\text{C})^*$ | $T_0(^{\circ}\text{C})^*$ | $\sigma_w(\text{kg}/\text{mm}^2)$ | $\sigma_0(\text{kg}/\text{mm}^2)$ | $e_1(\text{mm})$ |
|---------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| 6 | 700 | 650 | 5 | 5.8 | 2.85 |
| 10 | 700 | 500 | 5 | 11.0 | 4.10 |
| 12 | 700 | 380 | 5 | 16.5 | 4.40 |
| 14 | 700 | 350 | 5 | 18.0 | 5.17 |
| 16 | 700 | 300 | 5 | 20.0 | 5.78 |

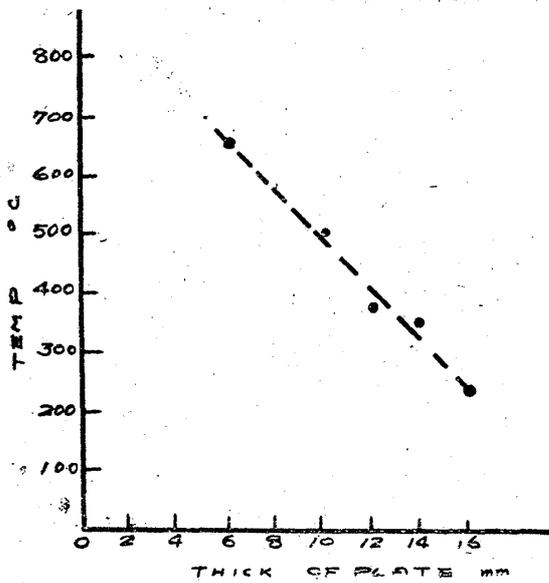


Fig. 15

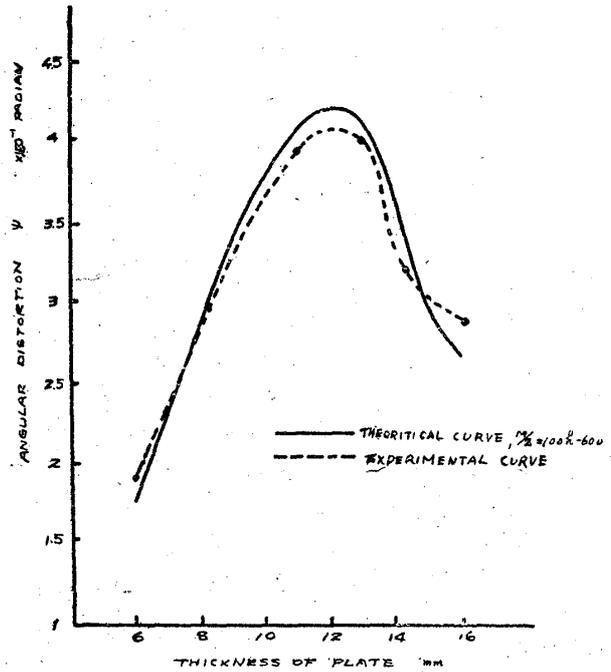


Fig. 16

繰り返して述べると局部加熱の際の塑性変形の程度を外力に置換え一方その外力下における温度分布のある材料を考へることによつて変形を調べて行こうとするのが著者等の考へ方であるが今板厚と裏面温度の關係を求めると実験範囲においては Fig. 15 のように比例關係が成立すると思はれる。そこで塑性変形の程度を温度差に略 proportional なものと思はると、すなわち板厚にも略 proportional な關係があると思はれるので、今非常に簡單な關係として板厚と仮想曲げモーメントの間に次のような比例關係が成立するものとする。

$$\frac{M}{Z} = 100h - 600 \dots\dots\dots (17) \frac{M}{Z}; \text{ 単位幅當りの曲げモーメント [kg]}$$

h ; 板厚 [mm]

(17)式を(16)式に代入 ψ について解いてグラフに示すと Fig. 16 のようになる。図中点線は実験値、実線は計算値である。

以上の説明は勿論、嚴密な理論計算ではないのであるが従來の溶接変形の解析では説明できない問題について概略の説明ができたわけで今後このような考へ方で種々の溶接による変形或いはガス陥等による加熱に伴う変形に対する現象の説明ができるものと思はれる。

結 言

1. 自由角変形が或る板厚について極大値を有することを見出しこれに対する説明を述べた。

* 溶接電流 280A の場合

2. 自由角変形の形状を認識し比較的簡単な塑性歪を予め与えておくことによつて完全に角変形を除きうることを見出した。
 3. 適当な塑性逆歪量を各板厚脚長の溶接について見出した。
 4. 弾性的な逆ひずみが角変形を除去し得ることを見出し逆歪の程度としてフランジ・プレートの縁応力を採用することによつて比較的簡単に弾性逆ひずみの条件を与え得ることを実験及び実際の工事より確かめた。
-