平板熔接歪の研究

正員 大 谷 碧*

A Study about Distorsion of welded Plate

M. Otani *

Abstracts

It is a matter of common knowledge that curvature is produced along weld line as well as angular distorsion of plate in welded V joint, but the cause of former deformation is not yet wholly illustrated.

Author proposes a theory investigating this by energy method. Experiments are made about stiffened plates to determine strain energy which varies in accordance with angular distorsion, and the results in Fig. 7 are obtained. Using three variables A , B and H to demonstrate the deformation, equation (47) is induced to calculate angular distorsion of welded plate without restraint and approximate value of B containing this equation can be found in Fig. 7. Then A and H are calculated from equations (43) and (48), consequently the shape of deformation is determined.

As the result, the bending is explained to grow with residual stresses perpendicular to weld, and the necessity to reduce such stresses is emphasized.

目 次

緒 論

第1章 平板熔接歪の實驗

第2章 平板熔接歪の理論

總 括

内 容 梗 概

平板V型衝合接手を多層盛熔接すれば板の縦析歪を生ずると同時に熔接線の縦曲りを伴ふ歪をも生ずることは既に指摘されて居る所であるが、後者の生因に關してはまだ定説がない様である。筆者は本論文に於て板内の歪エネルギーを考察しエネルギー法を利用して理論的に該歪の近似値を計算した。此の際多層盛熔接の結果として接手部板厚方

向に分布し板に縦析を生ぜしめ様とする應力に基づく歪エネルギー値 (V_3) は理論的に求めること困難であるので補助手段として第1章に記す如き各種強度の歪防止補強を附した平板の熔接歪を實驗的に求め、その結果を解析して V_3 と縦析角度の關係 (Fig. 7) を得た。理論式の示す所によれば、歪形を3變數 A, B, H を以て表す場合 ((14) 式及び Fig. 4) 拘束なき平板の縦析角度は (47) 式によつて與へられるが、該式を満足する B の値は Fig. 7 より近似的に求め得るのであつて、然るときは (43), (48) 式より變形狀態を定める他

* 鐵道技術研究所第二部

Railway Technical Research Institute in Japan.

の 2 変数の A, H 値を計算して熔接歪形を求め得る。

その結果熔接線の縦曲りは主として接手に直角方向の残留内応力により生起されることが證明された。従つてかゝる熔接歪を防止するには接手に直角方向の内応力を小ならしむる熔接法を採用すべきことが明かにされた。

結 論

拘束なき平板の V 型衝合接手多層盛熔接により生ずる歪即ち熔接部の縦析及び熔接線の縦曲りの^{①②}内、後者に就ては 2, 3 の實驗報告があるのみでその生成の機構に不明の點が多く、従つて現場工事に用ふる歪防止工作法にも確たる理論的根據を缺いて居るが、本研究はこの點を明かにするため先づ平板の熔接歪に關する實驗を行ひ之より得られた結果を解析し熔接歪生成の機構を理論的に探究してその成因を知り以て有効なる歪防止法を得る上の一資料たらしめんとしたものである。

第 1 章 平板熔接歪の實驗

板が全く平な平面であるならばその内部に如何に大なる 2 次元内応力が存在して居つても之に應ずる變形は平面内で起るのみであつて、かゝる内応力によつて熔接線の縦曲りの如き板に垂直方向の變位が生ずるためには平面の對稱性を破る何等かの因子が必要である。平板を衝合熔接せる場合について考へて見るに、V 型衝合接手多層盛の影響により熔接線の縦析を生じてその對稱性が破れ熔接線の縦曲りを生ずることが可能となり板内の 2 次元残留應力を最も逃す如き歪形をとるに至ると考へられる。従つて此の場合は熔接線の縦析量と縦曲り量とは密接に關聯して居るのであつて、曲面の場合縦析が縦曲り生成に關し重要な役割を演じて居らない^③のとは根本的に事情を異にして居り兩者の關係を充分考慮に入れて問題を論じなく

てはならない。

所で熔接線の縦析であるが、多層盛熔接により生ずる板厚方向の接手部残留應力度分布を理論的に計算し更に之を縦析歪と結びつけることは極めて難問題であつてまだその取扱方法は確立されて居らない様である。筆者は 板の熔接歪量を計算するに當り歪エネルギー法を用ひ板面に垂直方向の變形を生ずるに従つて平板内の歪エネルギーが如何に變化するかを求め該歪エネルギーが極小となる條件により歪形を定めたが、此の際計算に必要な板間の縦析角度と接手部板厚方向の残留應力度分布との關係は第 2 章に詳記する如き方法によりかゝる應力度分布に對應して存在する歪エネルギーと縦析との關係に變換すれば之を實驗的に求め得る筈である。その 1 例として以下記す如く板厚 20mm の平板に多種歪防止補強を附して熔接し補強の強さと縦析量との關係を求め之より出發して全然拘束なき場合の熔接歪形を計算した。即ち實驗要領並に實驗結果は次の如くである。

1. 實 體 要 領

(1) 試験片

厚さ 20mm デューコール鋼板 殘材より長さ 1m, 幅 300mm の平板 8 枚を機械切斷したものを實驗に使用した。この試験片は 2 枚 1 組として長邊を衝合熔接した。

(2) 歪防止の種類

4 種類の歪防止補強を附した試験片を作り各々に對する熔接歪を測定した。各試験片の歪防止要領は第 1 表及び Fig. 1 に示す如くであつて山形

① 福田：造船協會々報第 48 號「電氣熔接の歪防止法に就て」

② 美馬：會誌第 5 卷 3 號「薄板 V 型接手電氣熔接に於て生ずる歪と假補強材との關係に就て」

③ 筆者は曲面の 1 例として圓錐形殼の熔接歪に就て論じた。熔接學會誌 第 16 卷 2 號「圓錐形殼の接歪の研究」參照

第 1 表 歪防止要領

實驗 番 號	歪 防 止 補 強		取 付 間 隔
	長さ mm	寸法 mm	
1	300	25×25×3	板端より 50mm 離し等間隔
2	〃	60×60×7	〃
3	〃	90×90×10	〃
4	〃	130×130×12	〃

5 本宛を熔接により板裏面に取附けた。取付熔接は山形両面より端から 100mm 長さ丈行ひ山形中央部の 100mm は熔接を行はなかつた。

Fig. 1

Specimen Stiffened with 5 Angles

Fig. 2

Bending of Plate
when 25×25×3 angles are used

(3) 熔接要領

開先は 60°V 型としその間隔は 2mm を標準として数箇所を假付した後本熔接を行つた。此の

際逆歪等は一切用ひず従つて試験片は假付時平面であつた。熔接は表面熔接を完了した後歪防止補強を取去つて裏面熔接を行ひ且各層熔接に用ひた棒径は第 2 表に示す如く一定とした。又熔接は接手の一端より始り他端に終る如くなしその方向は前の層の逆向きに進んだ。

第 2 表 熔接要領

層 数	棒径 mm	熔接方向
表面 1 層	5	→
〃 2 〃	〃	←
〃 3 〃	13	→
〃 4 〃	〃	←
裏 面	5	→

(4) 歪測定要領

熔接歪は熔接々手に平行な縦向方切断面内の變形(縦曲り)と之に直角な横切断面内の變形(縦析)とを測定した。捩れの測定は省略した。Fig. 1 中縦方向歪は (A) — (A) から (F) — (F) 通りに就て求めた。計測方法は小さな木のコマを 2 箇作りこのコマを①—① 及び ⑥—⑥ 線上におきその間に木綿糸を張つて糸よりの垂直距離を耗尺で計つた。従つてコマをおいた位置が歪測定の基準(零點)となつた。又縦析量は①—① ③—③ 及び ⑥—⑥ 通りに就き角度定規を板面に當てゝ測定した。歪測定時期は表面熔接完了時、歪防止補強取除時、裏面熔接完了時とし且歪量は補強を板に附し且接手を假付した時を基準として之よりの變形量を以て歪量とし、又その符合は試験片を熔接時の如く上向 V 型となる如くおいて上方に生じた變位を正、下方への變位を負とした。

2. 實 驗 結 果

歪測定結果は第 3 表及び第 4 表に示す。又歪形の 1 例として 25×25×3mm 山形を歪防止補強として附し表面熔接を完了した時の縦曲り状態を Fig. 2 に示しておいた。

第3表 縦方向切断面内の歪量 (mm)

補強寸法 mm	測定位置		A-A			B-B			C-C			D-D			E-E			F-F		
	測定時期	測定位置	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
			2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
25×25×3	表面熔接完了時	接時	4.0	6.0	5.0	4.0	5.5	2.5	4.0	4.5	3.5	3.8	4.5	3.5	3.5	5.0	2.5	4.5	5.5	5.0
	歪防止補強取除時	強時	3.5	5.5	4.5	4.0	5.0	3.5	4.0	4.5	3.5	3.8	4.3	3.5	3.5	5.0	2.5	3.5	5.5	4.0
	裏面熔接完了時	接時	2.8	4.5	4.0	3.0	4.0	3.2	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	3.0	3.0	5.0	3.5	4.0	4.5	3.5
60×60×7	表面熔接完了時	接時	0.5	3.0	1.5	3.0	4.5	3.0	3.0	4.0	3.5	2.0	3.3	2.5	3.5	4.5	3.0	4.0	6.0	4.0
	歪防止補強取除時	強時	1.5	2.5	2.0	3.2	3.5	3.0	2.5	3.5	3.0	2.0	3.3	2.0	2.5	3.0	1.7	2.0	3.5	2.5
	裏面熔接完了時	接時	-0.5	1.0	0.5	1.5	2.0	1.5	2.7	2.5	3.0	1.0	2.0	1.5	1.5	2.2	1.0	3.0	3.0	2.5
90×90×10	表面熔接完了時	接時	1.5	2.0	1.5	1.0	2.0	1.5	1.0	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	2.0	1.0	2.0	2.5	1.5
	歪防止補強取除時	強時	1.5	2.0	1.5	1.5	2.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	1.5	2.0	1.0
	裏面熔接完了時	接時	1.5	1.5	1.5	1.0	1.7	2.0	0.5	1.3	1.5	0	0.5	1.0	0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.7
130×130×12	表面熔接完了時	接時	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	0.5	1.5	0.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5
	歪防止補強取除時	強時	0	-0.5	-0.3	-0.5	-0.8	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.5	-0.3	-1.5	0	-0.5	-0.3	-0.2	0	0
	裏面熔接完了時	接時	1.0	-1.5	-1.0	-1.0	-1.8	-1.3	1.3	-1.8	-1.3	-0.5	-2.8	-0.8	-0.3	-0.8	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0

第4表 縦折角度 (度)

補強寸法 mm	測定位置		1-1	3-3	5-5	平均
	測定時期		1-1	3-3	5-5	平均
25×25×3	表面熔接完了時	接時	5.0	6.5	5.5	5.7
	歪防止補強取除時	強時	5.0	6.5	5.7	5.7
	裏面熔接完了時	接時	4.7	6.0	5.0	5.2
60×60×7	表面熔接完了時	接時	2.5	3.0	3.5	3.0
	歪防止補強取除時	強時	2.5	3.0	3.5	2.0
	裏面熔接完了時	接時	1.5	1.5	1.5	1.5
90×90×10	表面熔接完了時	接時	1.8	1.7	1.1	1.5
	歪防止補強取除時	強時	2.8	3.2	1.0	2.3
	裏面熔接完了時	接時	0.7	0.7	0.5	0.7
130×130×12	表面熔接完了時	接時	1.7	2.0	-0.1	1.2
	歪防止補強取除時	強時	2.0	2.5	-0.1	1.5
	裏面熔接完了時	接時	0.5	2.5	-0.5	0.8

此等實驗結果より明かな如く平板のV型衝合接手を多層盛熔接する際は、接手に直角に附した歪防止補強を強力にするに従つて熔接部の縦折及び熔接線の縦曲りは共に減小するものである。

第2章 平板熔接歪の理論

熔接歪は熔接の進行に伴つて發生する熱應力に對應しつゝ成長するものであるから之を考察するには理論式中に時間の概念を導入せねばならないが、今は問題を簡単にするため次の如く假定しつゝ近似的な計算を進めることとする。

假定 1

平板は熔接中熔接線の縦曲りを伴ふ如き變位は抑制されて居つて、熔接終了後始めてこの抑制が取除かれて該縦曲りが生ずる如く考へる。而して最後の罐形はかゝる假想的な拘束の有無には影響されないものと假定する。

假定 2

接手熔接後平板内に殘留するに至る内應力は個々の熔接條件につき熱傳導論及び塑性學の立場から理論的に求むべきであるが、今は從來實驗的に求められて居る衝合接手の殘留應力値を参照して

④ 尙之等の假定に就ては脚註③の論文 (P.10) をも参照されたし。

之に近き残留性力度分布を假定し計算の一出発點とする。^⑥但し之等實驗値は全然抑制なき平板に就て求められたものであり熔接線の縦曲りを抑制して居る場合に比し既に應力の一部が逃れて終つたと考へられその數値小なる筈で此の點は注意を要する。

算式中の座標軸及び記號は次の如く定める。

原 點 0 試験片の中心にとる。

x, y, z 軸 板厚の中心即ち中央面を通り x 軸は熔接線に直角に y 軸は熔接線に平行に z 軸は板面に垂直にとる。
又試験片は上向 V 型となる如くおくものとする。

a 試験片の半幅

l 試験片の長さ

h 板厚

σ_{x_0} x 軸方向の初期残留應力度 (接手熔接後熔接線の縦曲りを伴ふ如き變位が抑制されて居るとしたときの板内の残留内應力度)

σ_{y_0} y 軸方向の初期残留應力度 (同上)

τ_{x, y_0} 初期剪斷應力度 (同上)

ϵ_{x_0} $\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}$ に相當する x 軸方向の歪度

ϵ_{y_0} $\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}$ に相當する y 軸方向の歪度

γ_{x, y_0} τ_{x, y_0} に相當する剪斷歪度

u_0, v_0 $\epsilon_{x_0}, \epsilon_{y_0}$ を生ずるための x, y 軸方向の變位量

w 熔接線の縦曲りを伴ふ如き變位を抑制して居る拘束を去除いた後の状態に於ける z 軸方向の變位量 (板の縦析及び熔接線の縦曲りを表す)

$\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ 變位を生じた後の状態に於ける板内の歪度

E 鋼のヤング率 ($2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とする)

ν 鋼のポアソン比 ($\nu=0.3$ とする)

D 板の曲げ剛さ ($D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$)

V 變位 w を生じた後の板内の全歪エネルギー ($V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$)

V_1 板の曲げ振りに基く板内の歪エネルギー

V_2 $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ に基く板内の歪エネルギー

V_3 多層盛熔接の結果接手部板厚方向に分布し板に縦析を生ぜしめ様とする應力に基づく歪エネルギー

V_4 歪防止補強中の歪エネルギー

x 軸方向の初期残留應力度即ち熔接後板が適當に拘束されて熔接線の縦曲りを伴ふ如き變位が抑制されて居るとした場合の内應力度 σ_{x_0} の値を次の如く假定する。

$$\sigma_{x_0} = f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y - a \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) \dots \dots \dots (1)$$

但し a は

$$\int_0^l \left(\sigma_{x_0} \right)_{x=0} dy = 0 \text{ を満足するものとする。}$$

$$\text{従て } a = \frac{6}{\pi} \dots \dots \dots (2)$$

故に

$$\sigma_{x_0} = f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y - \frac{6}{\pi} \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) \dots \dots \dots (3)$$

y 軸方向の初期残留應力度 σ_{y_0} は次の如く假定する。^⑥

$$\sigma_{y_0} = f_2 \left(1 + \beta \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \dots \dots (4)$$

⑥ 實驗値の數例は例へば Welding Journal Nov. 1937 "Shrinkage Stresses in Welding, a Review of the Literature to Jan. 1, 1937" by W. Spragen and G. Claussen を参照されたし。

⑦ 圓形形盛熔接の計算に當つても N 等初期残留内應力度を同形に假定した。脚註②参照。但し x, y 軸のとり方は本論文の場合と異なる。

但し β は

$$\int_0^a (\sigma_{y_0})_{y=0} dx = 0 \text{ を満足するものとする。}$$

$$\text{従て } \beta = \frac{3\pi}{2} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{故に } \sigma_{y_0} = f_2 \left(1 + \frac{3\pi}{2} \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \dots\dots\dots (6)$$

σ_x, σ_{y_0} に對應する $\epsilon_x, \epsilon_{y_0}$ は次式により求められる。

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_{y_0}) = \frac{1}{E} \left\{ f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y - \frac{6}{\pi} \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) - \nu f_2 \left(1 + \frac{3\pi}{2} \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \right\} \dots\dots\dots (7)$$

$$\epsilon_{y_0} = \frac{1}{E} (-\nu \sigma_x + \sigma_{y_0}) = \frac{1}{E} \left\{ -\nu f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y - \frac{6}{\pi} \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) + f_2 \left(1 + \frac{3\pi}{2} \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \right\} \dots\dots\dots (8)$$

かかる歪度 $\epsilon_x, \epsilon_{y_0}$ に對應する變位量 u_0, v_0 は次式により求められる。

$$\begin{aligned} u_0 &= \int \epsilon_x dx + Y(y) \quad Y(y) \text{ は } y \text{ のみの函数} \\ v_0 &= \int \epsilon_{y_0} dy + X(x) \quad X(x) \text{ は } x \text{ のみの函数} \end{aligned} \dots\dots\dots (9)$$

此の際 $X(x) Y(y)$ を定める周邊條件として板縁 KL (Fig. 3) は熔接中直線を保ち續けたものと假定し、更に板内の歪度は x 軸に關し對稱な筈であるから x 軸上では y 方向の變位成分はなかつたと考へて次式の關係を使用する。

$$\left. \begin{aligned} (u_0)_{x=a} &= \text{const} = C \\ (v_0)_{y=0} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

従て u_0, v_0 は

$$\begin{aligned} u_0 &= \frac{1}{E} \left\{ f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y - \frac{6}{\pi} \right) \left(x - a + \frac{2a}{\pi} \cos \frac{\pi}{2a} x \right) - \nu f_2 \left(x + a \sin \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \right\} \\ &\quad + C \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{1}{E} \left\{ -\nu f_1 \left(\frac{3l}{\pi} \sin \frac{\pi}{l} y - \frac{6}{\pi} y \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) + f_2 \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi}{l} y \left(1 + \frac{3\pi}{2} \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \right\} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

γ_{x, y_0} は u_0, v_0 より求めることが出来る。^⑦ (11) 式における常數 C の値は不明であるが γ_{x, y_0} を求める際には必要でない。即ち

$$\begin{aligned} \gamma_{x, y_0} &= \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} = \frac{1}{E} \left\{ 3 f_1 - \frac{\pi}{l} \sin \frac{\pi}{l} y \left(a - x - \frac{2a}{\pi} \cos \frac{\pi}{2a} x \right) - 3 \nu f_1 \frac{1}{a} \left(y - \frac{l}{2} \sin \frac{\pi}{l} y \right) \cos \frac{\pi}{2a} x - f_2 \frac{\pi l}{a} \left(\frac{3}{2} \right)^2 \sin \frac{\pi}{l} y \sin \frac{3\pi}{2a} x + \nu f_2 \frac{\pi a}{l} \sin \frac{\pi}{l} y \left(\frac{x}{a} + \sin \frac{3\pi}{2a} x \right) \right\} \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

板への拘束を取除き熔接線の縦曲りを伴ふ歪の生成を可能とし板内の歪エネルギーを極小となす如き安定なる歪形に移行せしめる。今此の新變形面を2變數 A, B を含む次式の如く假定し板内の歪エネルギーを極小にする如き A, B の値を求めて歪量を理論的に定めて見よう。 w を z 軸方向の變位量とするととき $x > 0$ の場合

$$\text{變形面 } w = A \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - B \frac{x}{a} \dots (14)$$

但し式中 A は z 軸の正方向を B は反對方向を正值とする。(14)式は一般に鑢面の一部と見なし得るのであつて、(14)式は實際の變形面を近似的に表し得ると考へられる。

更に變形前熔接線に平行及び直角方向にとつた板の素線は變形後次の如き状態にあるものとする。先づ板縁 KL は變形後 z 軸上の或高さ H

⑦ $\epsilon_x, \epsilon_{y_0}, \gamma_{x, y_0}$ は適合條件方程式 $\frac{\sigma_x^2 \epsilon_x}{\sigma_y^2} + \frac{\sigma_y^2 \epsilon_{y_0}}{\sigma_x^2} = \frac{\sigma_x^2 \gamma_{x, y_0}}{\sigma_x \sigma_y}$ を満足するを要し従て $\epsilon_x, \epsilon_{y_0}$ を任意にされば γ_{x, y_0} が定まると考へる。

である。然るときは PQ と $P'Q'$ の間の距離は次の如くなる。

$$\xi \left\{ 1 + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (17)$$

即ち素線 PQ の熔接線よりの距離は次の如くなる。

$$x \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{a^2} + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - \frac{B}{H} \frac{x}{a} \right\} + \xi \left\{ 1 + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \right\}$$

微小項を省略すれば

$$= x \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{a^2} + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - \frac{B}{H} \frac{x}{a} \right\} + \xi \quad \dots\dots\dots (18)$$

變形面 w は (14) 式の如き彎面の一部であるとするから之を平面に展開しその實形を求めることが出来る。熔接線の片側につき OT 線を基準として TOy 平面上に展開した變形面の實形に於て素線 PQ と y 軸の距離は

$$x \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{a^2} + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - \frac{B}{H} \frac{x}{a} \right\} + \xi - \frac{AB}{a} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \quad \dots\dots\dots (19)$$

従て、素線 PQ 上の各點の x 軸方向の變位量を u とすると

$$u = x \left\{ \frac{1}{2} \frac{B^2}{a^2} + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - \frac{B}{H} \frac{x}{a} \right\} + \xi - \frac{AB}{a} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \quad \dots\dots\dots (20)$$

故に該變位 u により x 軸方向に生ずる歪度 ϵ_x' は

$$\epsilon_x' = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{a^2} + \frac{A}{H} \left(1 - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - \frac{B}{H} \frac{2x}{a} + \frac{d\xi}{dx} \quad \dots\dots\dots (21)$$

此の場合素線 PQ の移動によつては y 軸方向の内應力値の變化はなかつたものと假定する。従るときは y 軸方向には次の關係を満足する新歪度 ϵ_y' を正じて居る筈である。

$$\epsilon_y' = -\nu \epsilon_x' \quad \dots\dots\dots (22)$$

(21) (22) 式中の $\frac{d\xi}{dx}$ は應力平衡の條件

$$\left. \begin{aligned} \int_0^l \sigma_x' dy &= 0 \\ \text{但し } \sigma_x' &= \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x' + \nu \epsilon_y') = E \epsilon_x' \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

より求めることが出来る。上式より $\frac{d\xi}{dx}$ を求めて之を (21) (22) 式に代入すると

$$\epsilon_x' = \frac{A}{H} \left(\frac{2}{\pi} - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\epsilon_y' = -\nu \frac{A}{H} \left(\frac{2}{\pi} - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \quad \dots\dots\dots (25)$$

又變位 u による剪斷歪度の變化を γ_{xy}' とすると

$$\gamma_{xy}' = \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\pi}{l} \left(\frac{A}{H} x - \frac{AB}{a} \right) \sin \frac{\pi}{l} y \quad \dots\dots\dots (26)$$

次に變形前 x 軸に平行な素線について考へる。先に假定した如く該素線は變位 w を生じた後も直線を保ち続け且板縁 KL と直交するすれば、變形後素線上の各點の y 軸方向への變位量 v は

$$v = \frac{\pi}{l} \left(\frac{AB}{a} - \frac{aA}{H} \right) \left(x - \frac{a}{2} \right) \sin \frac{\pi}{l} y \quad (27)$$

従て變位 v により y 軸方向に生ずる歪度 ϵ_y'' は

$$\epsilon_y'' = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\pi^2}{l^2} A \left(\frac{B}{a} - \frac{a}{H} \right) \left(x - \frac{a}{2} \right) \cos \frac{\pi}{l} y \quad \dots\dots\dots (28)$$

y 軸方向の變位 v を生じた後も PQ 等の素線は S 點より見て直線形を保ち続けると假定すると、 ϵ_y'' に對應する x 軸方向の歪度の變化 ϵ_x'' は x のみの函數となるから次の平衡の條件式より求めることが出来る。

⑩ v は應力平衡の條件 $\int_0^a \sigma_y'' dx = 0$ を満足して居る。

$$\left. \begin{aligned} \int_0^l \sigma_x'' dy &= 0 \\ \text{但し } \sigma_x'' &= \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x'' + \nu \epsilon_y'') \end{aligned} \right\} \dots (29)$$

之より

$$\begin{aligned} \epsilon_x'' &= -\nu \frac{2}{l} \int_0^l \epsilon_y'' dy = -\nu \frac{\pi^2}{l^2} \cdot \frac{2}{\pi} A \\ &\left(\frac{B}{a} - \frac{a}{H} \right) \left(x - \frac{a}{2} \right) \dots (30) \end{aligned}$$

又變位 v による剪断歪度の變化 γ_{xy}'' は

$$\gamma_{xy}'' = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\pi}{l} \left(\frac{AB}{a} - \frac{aA}{H} \right) \sin \frac{\pi}{l} y \dots (31)$$

結局變位 w を生じた後に於ける全歪度 ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} は次の如くなる。

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \epsilon_{x_0} + \epsilon_x' + \epsilon_x'' \\ &= \frac{1}{E} \left\{ f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y - \frac{6}{\pi} \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) \right. \\ &\quad \left. - \nu f_2 \left(1 + \frac{3\pi}{2} \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \right\} + \frac{A}{H} \\ &\quad \left(\frac{2}{\pi} - \cos \frac{\pi}{l} y \right) - \nu \frac{2}{\pi} \frac{\pi^2}{l^2} A \left(\frac{B}{a} - \frac{a}{H} \right) \\ &\quad \left(x - \frac{a}{2} \right) \dots (32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \epsilon_{y_0} + \epsilon_y' + \epsilon_y'' = \frac{1}{E} \left\{ -\nu f_1 \left(3 \cos \frac{\pi}{l} y \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{6}{\pi} \right) \left(1 - \sin \frac{\pi}{2a} x \right) + f_2 \left(1 + \frac{3\pi}{2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cos \frac{3\pi}{2a} x \right) \cos \frac{\pi}{l} y \right\} - \nu \frac{A}{H} \left(\frac{2}{\pi} - \cos \frac{\pi}{l} y \right) \\ &\quad + \frac{\pi^2}{l^2} A \left(\frac{B}{a} - \frac{a}{H} \right) \left(x - \frac{a}{2} \right) \cos \frac{\pi}{l} y \dots (33) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{xy} &= \gamma_{xy_0} + \gamma_{xy}' + \gamma_{xy}'' \\ &= \frac{1}{E} \left\{ 3f_1 \frac{\pi}{l} \sin \frac{\pi}{l} y \left(a - x - \frac{2a}{\pi} \cos \frac{\pi}{2a} x \right) \right. \\ &\quad \left. - 3\nu f_1 \frac{1}{a} \left(y - \frac{l}{2} \sin \frac{\pi}{l} y \right) \cos \frac{\pi}{2a} x \right. \\ &\quad \left. - f_2 \frac{\pi l}{a} \left(\frac{3}{2} \right)^2 \sin \frac{\pi}{l} y \sin \frac{3\pi}{2a} x + \nu f_2 \frac{\pi a}{l} \right. \\ &\quad \left. \sin \frac{\pi}{l} y \left(\frac{x}{a} + \sin \frac{3\pi}{2a} x \right) \right\} - \frac{\pi}{l} \frac{A}{H} \end{aligned}$$

$$(a-x) \sin \frac{\pi}{l} y \dots (34)$$

假定した w の形 (14) より

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0 \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} &= A \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \cos \frac{\pi}{l} y \end{aligned} \right\} \dots (35)$$

歪エネルギー中、曲げ及び捩りによる板内の歪エネルギー V_1 及び $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_{xy}$ に基く板内の歪エネルギー V_2 は夫々次式により表される。

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{2} D \int_0^a \int_0^l \left\{ \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \left(-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + 2\nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2 \left(1 - \nu \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} \\ &\quad dx dy \dots (36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{Eh}{2(1-\nu^2)} \int_0^a \int_0^l \left\{ (\epsilon_x + \epsilon_y)^2 - 2(1-\nu) \right. \\ &\quad \left. \left(\epsilon_x \epsilon_y - \frac{1}{4} \gamma_{xy}^2 \right) \right\} dx, dy \dots (37) \end{aligned}$$

V_3 を多層盛熔接の結果接手部板厚方向に分布し板に継折を生ぜしめ様とする應力に基く歪エネルギー V_4 を歪防止補強中の歪エネルギーとすると、歪防止補強中のものも含めた平板中の全歪エネルギー V は V_1, V_2, V_3, V_4 の和であつて、3變數 A, B, H は V を極小となす如き値をとつて安定な歪形を定めるものと考へられるから之等3數は次の3式から求められる。

$$\frac{\partial V}{\partial A} = \frac{\partial V_1}{\partial A} + \frac{\partial V_2}{\partial A} = 0 \dots (38)$$

$$\frac{\partial V}{\partial B} = \frac{\partial V_2}{\partial B} + \frac{\partial V_3}{\partial B} + \frac{\partial V_4}{\partial B} = 0 \dots (39)$$

$$\frac{\partial V}{\partial H} = \frac{\partial V_2}{\partial H} = 0 \dots (40)$$

① 例へば S. Timoshenko "Theory of Plates and Shells" P. 50 参照。又歪エネルギーは $x=0$ より

$a, y=0$ より $\frac{l}{2}$ の範圍につき求める。

② V_3, V_4 はその性質上變形面 w の繼折角度を定める變數 B のみの函數である。

(38) (39) (40) 式に (35) (36) (37) 式及び (32) (33) (34) 式を代入して計算すれば次式を得る。

(38) 式より

$$\begin{aligned} & \frac{h^2}{6} \cdot \frac{\pi^4}{l^4} \cdot \frac{\pi^2}{8} A + \left\{ 2 \left(1 - \nu^2 \right) \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \right. \\ & \quad + \left(1 - \nu \right) \frac{a^2}{l^2} \cdot \frac{\pi^4}{24} \left. \right\} \frac{A}{H^2} + 2 \left\{ - \frac{1 - \nu^2}{E} f_2 \frac{\pi^2}{l^2} \right. \\ & \quad \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{3} \right) \frac{\pi}{4} + \frac{\pi^4}{l^4} \cdot \frac{\pi}{24} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2\nu^2}{\pi} \right) \\ & \quad \times A \left(B - \frac{a^2}{H} \right) \left\{ B - \frac{a^2}{H} \right\} + \left(\frac{2(1-\nu^2)}{E} \right. \\ & \quad 3f_1 \left(\frac{2}{\pi} - \frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{2}{\pi} - 1 \right) - \pi \frac{a}{l} \frac{1-\nu}{E} \\ & \quad \left\{ 3f_1 \frac{a}{l} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{4}{\pi^2} \right) \frac{\pi^2}{4} - 3\nu f_1 \frac{l}{a} \frac{2}{\pi} \right. \\ & \quad \left(\frac{1}{\pi} - \frac{\pi}{8} \right) - f_2 \frac{l}{a} \left(\frac{3}{2} \right)^2 \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{9\pi} \right) \\ & \quad \left. \left. + \nu f_2 \frac{a}{l} \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{\pi}{12} + \frac{1}{3} + \frac{2}{9\pi} \right) \right\} \right\} \frac{1}{H} = 0 \end{aligned} \quad (41)$$

(39) 式より

$$\begin{aligned} & \frac{Eh}{1-\nu^2} \left\{ - \frac{1-\nu^2}{E} f_2 \frac{\pi^2}{l^2} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{3} \right) \frac{\pi}{4} + \frac{\pi^4}{l^4} \right. \\ & \quad \left. \frac{\pi}{24} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2\nu^2}{\pi} \right) A \left(B - \frac{a^2}{H} \right) \right\} A + \frac{\pi^2}{2al} \\ & \quad \left(\frac{dV_3}{dB} + \frac{dV_4}{dB} \right) = 0 \end{aligned} \quad (42)$$

(40) 式より

$$\begin{aligned} & - \left\{ 2 \left(1 - \nu^2 \right) \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) + \left(1 - \nu \right) \frac{a^2}{l^2} \cdot \frac{\pi^4}{24} \right\} \\ & \quad \frac{A}{H} + 2 \left\{ - \frac{1 - \nu^2}{E} f_2 \frac{a^2}{l^2} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{3} \right) \frac{\pi^3}{4} \right. \\ & \quad + \frac{a^2}{l^4} \cdot \frac{\pi^5}{24} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2\nu^2}{\pi} \right) A \left(B - \frac{a^2}{H} \right) \left. \right\} \\ & \quad + \frac{2(1-\nu^2)}{E} 3f_1 \left(\frac{2}{\pi} - \frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) \\ & \quad + \pi \frac{a}{l} \frac{1-\nu}{E} \left\{ 3f_1 \frac{a}{l} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{4}{\pi^2} \right) \frac{\pi^2}{4} \right. \\ & \quad - 3\nu f_1 \frac{l}{a} \frac{2}{\pi} \left(\frac{1}{\pi} - \frac{\pi}{8} \right) - f_2 \frac{l}{a} \left(\frac{3}{2} \right)^2 \\ & \quad \left. \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{9\pi} \right) + \nu f_2 \frac{a}{l} \frac{\pi^2}{4} \left(\frac{\pi}{12} + \frac{1}{3} \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + \frac{2}{9\pi} \right) \right\} = 0 \end{aligned} \quad (43)$$

(41) (42) (43) 式より V_3 と V_4 の間に次の如き簡単な関係式を導くことが出来る。

$$\frac{dV_3}{dB} + \frac{dV_4}{dB} = D \frac{\pi^4}{4} \frac{a}{l^3} \frac{A^2}{B} \quad (44)$$

(44) 式中の $\frac{dV_4}{dB}$ は実験に用いた各歪防止浦

強に就て次の要領で近似的に計算して求める。即ち板に継析を生じたために、補強材の板に取付熔接されて居らない部分のみが圆弧状に曲るとし且此の際曲げの中立軸の位置は板と補強材の境界面にとる。今補強材中、中立軸より h なる距離迄の部分は弾性曲げで之より外部は塑性曲げを受けてゐるとし、補強材の降伏点應力度を σ_{YP} h_0 を補強材の高さ η を中立軸よりの距離、 t を該距離における補強材の厚さ、 ϕ を継析角度、 r を取付熔接されざる補強材部の長さとし又降伏点を超へた應力—歪曲線を直線且水平と假定すると

$\frac{dV_4}{dB}$ は次式により表される。¹⁹⁾

$\eta > h$ のときは

$$\frac{dV_4}{dB} = \frac{2\sigma_{YP}}{a} \int_h^{h_0} t\eta d\eta$$

$\eta < h$ のときは

$$\frac{dV_4}{dB} = \frac{2E\phi}{ar} \int_0^h t\eta^2 d\eta$$

$$- \frac{2\sigma_{YP}}{a} \int_0^h t\eta d\eta$$

$$\dots\dots\dots (45)$$

$$\text{故に } \frac{dV_4}{dB} = \frac{2E\phi}{ar} \int_0^h t\eta^2 d\eta - \frac{2\sigma_{YP}}{a} \int_0^h t\eta d\eta$$

$$+ \frac{2\sigma_{PY}}{a} \int_h^{h_0} t\eta d\eta \quad (46)$$

¹⁹⁾ 厚さ 20mm の V 型衝合接手を熔接すれば、熔融鐵の收縮等による接手に直角方向の様な局部的收縮量は約 3mm 程度であるが、之が補強山形の取付熔接せざる長さ 100mm に等しく分布するを考へれば山形該部は既に降伏して居る。この状態に更に曲げ壓力が作用する。

第 5 表 $\frac{dV_3}{dB}$ と B の關係

實驗番號	補強材寸法 cm	$\frac{dV_3}{dB}$	A cm	B cm	$D = \frac{\pi^4 a A^2}{4 l^3 B}$	$\frac{dV_3}{dB}$ kg
1	2.5×2.5×0.3	6.5×10^2	0.45	1.43	1.51×10^2	-4.99×10^2
2	6.0×6.0×0.7	84.4×10^2	0.365	0.78	1.83×10^2	-82.6×10^2
3	9.0×9.0×1.0	273×10^2	0.20	0.39	1.10×10^2	-271.9×10^2
4	13.0×13.0×1.2	698×10^2	0.075	0.32	0.20×10^2	-697.8×10^2

第 1 章の實驗に用いた 4 種類の各補強材につき
(46) 式の數値を計算して (44) 式に代入すれば
 $\frac{dV_3}{dB}$ は第 5 表の如くなる。但し表中補強材 (軟鋼

の σ_{YP} は $3,000 \text{ kg/cm}^2$ として計算した。又 AB
の値としては A は各實驗中の $C-C$ 及び $D-D$
通りと ③—③ 通りの交點における歪量の平均
値を、又は B 繼析角度の平均値と板幅より計算
したものを用ひ實驗の結果を利用した。

Fig. 6 Bending of Stiffeners

Fig. 7 Relation between
 $\frac{dV_3}{dB}$ and B

第 5 表の $\frac{dV_3}{dB}$ と B の關係を圖示すると Fig. 7

の如くなる。即ち第 1 章に用いた試験片中の V_3
と B の關係を實驗的に求め得た。

上記の結果を用ひて全然歪防止補強を附せざる
平板の熔接歪の近似値を求めることが出来る。即
ち此の場合には歪エネルギー式中には V_4 を含まず
(44) 式は次式の如くなる。

$$\frac{dV_3}{dB} = D \frac{\pi^4}{4} \frac{a}{l^3} \frac{A^2}{B} \dots\dots\dots (47)$$

(47) 式を満足する B の値が歪防止等の拘束な
き場合の繼析量を定めることとなるが式中の右邊
は第 5 表中より明かな様に本實驗の如く厚板の場
合には $\left| \frac{dV_3}{dB} \right|$ 比し極めて小なる正值をとるも
のであるから (47) 式を満足するの B 値は

$$\frac{dV_3}{dB} = 0$$

を満足する B 値のより少しく大であるに過ぎず

⑭ 板の歪エネルギーは $x=0$ より a $y=0$ より $\frac{l}{2}$

つまり板の $\frac{1}{4}$ につき求めて居るから之に相當する
補強材の歪エネルギーは $\frac{5}{4}$ 本 = 1.25 本 につき求め
る。

⑮ $B = \frac{1}{2} a \phi$ として計算した。

兩者略々等しいと見なしても結果の誤差は僅少であらう。従つて Fig. 7 に示す如き $\frac{dV_3}{dA}$ - B 曲線等を利用して $\frac{dV_3}{dB}=0$ ならしむる B の値を求めれば (41) (43) 式よりかゝる B 値に對應する A, H の値が定まり拘束なき平板の熔接歪形が決定される。

計算を簡単にするため (43) 式の關係を (41) 式に代入して整理すると次式を得る。

$$\frac{h^2}{48} \frac{\pi^3}{l^2} A + \frac{\pi^2}{12} \frac{a^2}{l^2} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2\nu^2}{\pi} \right) A \\ \left(\frac{B}{a^2} - \frac{1}{H} \right) B = \frac{1-\nu^2}{2E} f_2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{3} \right) B \quad (48)$$

この (48) 式と (43) 式より A, H を求めればよい。

1. 計算例

(43) (48) 式中 h を第 1 章の實驗に用ひた板の厚さ (2.0cm) とすれば次式を得る。

$$\left(0.270 + 2.84 \frac{a^2}{l^2} \right) \frac{A}{H} - 18.61 \frac{a^4}{l^4} A \\ \left(\frac{B}{a^2} - \frac{1}{H} \right) = \left(0.277 + 0.969 \frac{a^2}{l^2} \right) \\ \times f_1 \times 10^{-6} - \left(2.47 + 7.337 \frac{a^2}{l^2} \right) f_2 \times 10^{-6} \quad (49)$$

$$\frac{2.58}{l^2} \frac{A}{B} + 0.599 \frac{a^2}{l^2} \left(\frac{B}{a^2} - \frac{1}{H} \right) A \\ = 0.254 f_2 \times 10^{-6} \quad (50)$$

従つて a, l, B, f_1, f_2 の値を與へれば兩式より A, H が定まる。

(7) 板の寸度は第 1 章の實驗に用ひたもの即ち $a=30\text{cm}, l=100\text{cm}$ とする。Fig. 7 の曲線より $\frac{dV_3}{dB}=0$ ならしむる B の値を求めて見ると

$$B=1.52\text{cm}$$

然るときは (49) (50) 式より

$$A=0.121f_1 \times 10^{-3} + 0.023f_2 \times 10^{-3} \text{ (cm)} \quad (51)$$

平板融合接手の残留應力に關する實驗値を参照し、且第 1 章の實驗は大徑熔接棒を用ひ又試験材も降伏點高きデューユール鋼板であつたから通常の場合よりも大なる残留内應力が存在して居つたと思はれる點をも考慮して

$$f_1=3,000\text{kg/cm}^2 \quad f_2=700\text{kg/cm}^2 \quad (16)$$

とすると (51) 式より $A=0.36+0.02=0.38\text{cm}$ 此の時 $H=-259\text{cm}$

第 1 章の實驗より歪防止補強のない場合の A (C-C, D-D 通りについて平均値をとる) は約 0.45cm, B は約 1.5cm と豫想され求めた計算結果と略々一致する。

(2) 上述の計算方法を應用して幅大なる板の熔接歪を計算して見る。先づ

$$a=50\text{cm}, l=100\text{cm} (h=2.0\text{cm})$$

とする。 $\frac{dV_3}{dB}=0$ となる縱折角度は a には無關係であると考へられるから $\frac{dV_3}{dB}=0$ とする B の値を

$$1.52 \times \frac{50}{30} = 2.53\text{cm}$$

として A, H を計算すると (49) (50) 式より $A=0.212f_1 \times 10^{-3} - 0.277f_2 \times 10^{-3} \text{ (cm)} \dots \quad (52)$

f_1, f_2 を (1) の場合と同様にとれば

$$A=0.63-0.19=0.44\text{cm}$$

又

$$H=-1010\text{cm}$$

(3) 更に $a=100\text{cm}, l=100\text{cm} (h=2.0\text{cm})$

とすると $\frac{dV_3}{dB}=0$ とす B の値は

$$1.52 \times \frac{100}{30} = 5.07\text{cm}$$

(16) かく f_1 及び f_2 を假定すれば (3) 及び (6) 式から接手に直角方向の最大引張應力値は 3,270 kg/cm^2 接手に平行方向の最大引張應力値は 3,970 kg/cm^2 とする。

(49) (50) 式より

$$A = 0.362f_1 \times 10^{-3} - 0.175f_2 \times 10^{-3} (\text{cm}) \dots (53)$$

f_1, f_2 を (1) の場合と同一にとれば

$$A = 1.08 - 0.12 = 0.96 \text{ cm}$$

又 $H = 3,520 \text{ cm}$

2. 計算結果の検討

計算式を検討すると平板溶接歪の性質に關し次の諸點が明かとなる。

(1) 計算例に示した如く最大縦曲量と残留應力度の間には各板寸法に應じて (51) (52) 或は (53) 式の關係があるが、之等の關係式より明かな如く A は主として f_1 の項により定まり f_2 の項には餘り影響されない。即ち縦曲りを小とする1條件は接手に直角方向の残留應力度を小となす如き溶接法を採用することであつて、この見地よりすると種々な溶接法中最も好適なものは對稱法である。對稱溶接が歪防止の見地より好ましいことは既に實驗的に指摘され、又現場の溶接工事においても廣く經驗されて居る事實であるが、本計算によりその理論的基礎が明かにされたと思ふ。

(2) 第1章の實驗結果中最大縦曲り量 A は歪防止補強々度を増すに従つて小となつたが之は次の如く説明することが出来る。

(49) (50) 式に於て a, l を實驗に用いた試験片の寸度とし且 f_1, f_2 を前と同様に $3,000 \text{ kg/cm}^2$ 及び 700 kg/cm^2 として兩式より H を消去すれば次式の如き A, B の關係式を得る。

$$A = \frac{11.34B}{32.4 + 5.85B^2} \dots (54)$$

本式によれば、實驗中の各補強々さに對する B の値に應じて第6表に示す A の計算値を得て之等は實驗値に比し約3割方小ではあるがその傾向をよく表して居る。即ち A の値は該試験片を溶接して生ずる如き B 値の範圍内では B と共に増加するものであつて、従つて強い歪防止補強材

第6表 A の計算値

$B \text{ cm}$	$A \text{ cm}$
0.315	0.11
0.39	0.13
0.78	0.25
1.43	0.36
(1.52)	(0.38)

を使用して縦折を防止することは溶接線の縦曲りを防止する上に有効でありこの點曲面に於ける兩者の關係と甚しく事情を異にする。又之と同様な意味で逆歪法或はX型接手をを使用することは歪防止効果があることも明かである。

(3) H は先に述べた如く歪の様式を定める數であるが、1の計算例につき板寸法と H の關係を調べて見ると第7表の如くなる。 $H : a^2/B$ の値が負なるときは歪の様式は Fig.5-c に示す如き

第7表 H と板寸法の關係

a/l	0.3	0.5	1.0
$H / \frac{a^2}{B}$	-0.437	-1.02	1.78

ものであつて、板幅が大となるに従ひ S 點は原點を遠ざかり Fig. 5-b の形式に近くなり、 $a=l$ なるときは $H : a^2/B$ は 1.78 となり Fig. 5-a の歪形式に近づく。

(4) 歪防止補強をつけた時は、厚板の場合(44)

式中右邊は $\left| \frac{dV_3}{Bd} \right| \frac{dV_4}{dB}$ に比し極めて小なる値をとる項であるから、 B の近似値は

$$\frac{dV_3}{dB} + \frac{dV_4}{dB} = 0$$

なる式より求めることが出来る。従つて Fig. 7

の如き $\frac{dV_3}{dV} \sim B$ 曲線が求められて居る場合或強さ

⑪ 脚註⑥中の實驗値参照

⑫ 脚註①参照

⑬ 例へば脚註③の圓錐形殻の場合参照

の歪防止補強を入れて生ずべき縦析角度は該補強につき $\frac{dV_4}{dB} \sim B$ 曲線を計算し $-\frac{dV_4}{dB} = \frac{dV_3}{dB}$ なる如き B を圖上で求めることにより定め得る。

(5) a に比し l 小なる短冊型試験片を熔接して生ずる縦析は $\frac{dV_3}{dB} = 0$ を満足する縦析角度であると考へられるから、板厚熔接層数熔接棒径の各種組合せにつきその縦析角度を求めておけば任意の a, l 値を有する板の熔接歪を推定し得る譯である。即ち相當する熔接條件の場合の縦析角度を B に換算しこの B を用ひて (43) (48) 式より AH を求めればよいのであつて、 $\frac{dV_3}{dB} = 0$ ならしむる B 値を求めるには必ずしも Fig. 7 の如き曲線を使用する必要はない。

総 括

1. 先づ各種強度の歪防止補強を附した平板の V 型衝合接手を熔接し、此の際生ずる歪は熔接部の縦析及び熔接線の縦曲り共補強々度が増大するに従つて減少することを示した。

2. 熔接歪の理論式を導くに當つて次の如き假定を設けた。

(1) 平板がまだ縦曲りを伴ふ歪を生じて居ないときの内應力値を (3) (6) 式の形に假定した。

(2) 2 變形面 w を變數 A, B を含む (14) 式の形に假定した。

(3) x 軸上に於て、板縁 KL が變形の前後を通じて直線に見える如き點 S が存在すると

し、且該 S 點より見れば y 軸に平行だつた板の素線は變形の前後を通じて直線形に見えるものと假定した。

(4) x 軸に平行だつた板の素線は常に直線であり且板縁 KL に直交すると假定した。

3. 第 1 章の實驗に用ひた試験片の熔接歪を考察するに當り、(46) 式により歪防止補強中の歪エネルギーを計算しその結果を利用して Fig. 7 に示す如き $\frac{dV_3}{dB} \sim B$ 曲線を求めた。

4. 更に (44) 式中の各項の値を吟味して歪防止補強等を附せざる自由な平板の熔接歪中縦析角度を定める B の値は $\frac{dV_3}{dB} = 0$ ならしむる B の値と略々等しいことが推定された。

従て Fig. 7 の曲線等を利用してかゝる條件を満足する B の値を知れば (43) (48) 式より拘束なき平板の熔接歪形を求めることが出来る。本文中に計算の數例を示しておいた。

5. 縦曲り量 A は主として接手に直角方向の殘留應力値により生起し、又縦析を防止することによりその生成を抑制しう得ることが明かにされた。

従つてかゝる熔接歪を小とするためには歪防止補強を入れて縦析を防止すると同時に、特に熔接法の適否によつて變化甚しき熔接線に直角方向の内應力直を小且一樣ならしむる熔接法を採用することが必要である。

最後に本研究に際し實驗方面を擔當し筆者に協力されたる藤原典男氏に感謝の意を表する次第である。 (終)