

(昭和 34 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

船体構造における突合せ溶接継手の拘束 と残留応力に関する研究 (第 1 報)

— 新しい突合せ継手の拘束溶接試験法による拘束度と残留応力 —

正員 吉田 兎 四 郎*

正員 阿 部 武*

正員 尾 上 久 浩*

On the Study of Restraint and Residual Stress due to Welding on Erecting Butt Joint
of Ship's Hull (Report No. 1)

Relation between restraint and residual welding stress obtained by the new experi-
mental "Restrained-Joint" method proposed by the authors.

By Toshiro Yoshida, *Member*Takeshi Abe, *Member*and Hisahiro Onoue, *Member*

Abstract

The new proposed experimental "Restrained-Joint" method, includes a reproductive condition which both ends of plate are fixed in perfect rigid. The distance between both rigid ends fixed, we call it restrained distance, are always let constant.

For this purpose, a gauge with a dial indicator that is equal to restrained distance, is set, and the ensile loading suffered from the both of plate that are bitten by chuck of the Mohr tension tester, are as well as controlled in quick responsible to maintain the gauge length constant. Due to the experiments carried out, it could be considered that so-called intensity of restraint was equivalent to the reaction stress which was obtained by this loading test method.

Hence, 400mm breadth, 20mm thickness of plate and 300, 400, 600, 850 and 1,000mm restrained distance, the condition was appreciable for various restraint intensity, and 3, 7 and 12mm root openings was used to find effect of excessive root opening and the material for every specimens was SM-41 (mild steel).

Thus, the obtained results was summarized as follows.

1. Expanding and shrinking region upon restrained condition, plastic and elastic deforming zone in adjacent butt joint was clarified.
2. Some excessive root opening not hardly effected on intensity of restraint and amount of locken-in stress (residual welding stress) on restrained butt weld, was found.
3. The intensity of restraint could be varied by various restrained distances, in 400mm and the less was increased abruptly but in 600—1,000mm, restrained distance-intensity of restraint curve had a gently-slope.
4. Longitudinal residual welding stress along weld line on butt weld was decreased and transverse

原稿受付 昭和 34 年 7 月 10 日

* 三菱日本重工業横浜造船所造船工作部

locked-in stress due to welding was increased by increasing of restraint, was appeared.

The increased amount of transverse locked-in stress from free joint (no restraint) was almost equal to the intensity of restraint i.e. reaction stress value measured by the test.

5. Reaction stress of each passes during multi-pass welding showed a maximum value when weld metal was deposited 30—40% throat per full thickness of plate.
6. At the condition $t=20$ mm, $b=400$ mm and R. D=850 mm it was a significant result that the reaction load was measured by tester as large approximately 130 Tons according to this experiments.

§ 1. 緒 言

溶接線の横方向に大きな拘束をうけた突合せ溶接継手は溶接による収縮が阻まれて溶接部の内部応力の過大になることが原因の1つとなり亀裂を生じることがある。

また亀裂に達しないまでも拘束の度合の大きい程、溶接部、およびその近くの母材部に locked-in stress が大きい値で残存することは当然予想されるわけである。

したがって溶接構造物の設計、施工に当って各種の溶接継手に対する拘束度が明らかにされれば充分、自信のある溶接構造物を製作し得るし、また、より合理的な設計、施工をも見出し得るわけである。

例えば船体構造におけるブロックの大型化の傾向とか船殻を2ないし3分割してそれぞれ別のユニットとして組立て溶接をした後にいわゆるマスターバットで継ぎ合わせる手段、あるいは船台における多点建造法⁽¹⁾の採用等に関するそれぞれのブロック継手の拘束度はどうしても知って置きたい事柄であろう。

拘束溶接片における拘束度としてこれを定量化する試みはすでにいろいろな人によつてなされており*、いずれも溶接継手をはさんだある標点間の収縮量と拘束度を結び付けようとする方法とみられる。

著者等は最も単純な拘束と考えられる突合せ継手を中心として両端部を完全に剛着した理想的な拘束溶接を再現せんとする意図を持つ試験方法を考案してみた。

この方法は後程、詳述するが横型の引張り試験機で両端をくわえ溶接線をまたいである標点間の距離を常に一定にするように試験機の加重、抜重を control する方法であつて溶接による母材部の reaction は直読でき、本論で後述するがこの reaction stress を拘束度とみなすことによつていろいろな拘束の問題を非常に simple に取扱うことができる点および溶接中における拘束度の変遷が容易にみられる点等でいろいろ興味ある実験がなし得られることを見出した。

本研究第1報においては次の各項目に関する実験結果を報告する。

- (1) 拘束溶接継手近傍各部のひずみ変化および塑性変形、弾性変形の領域
- (2) 溶接残留応力におよぼす拘束度の影響
- (3) ルート間隔が拘束度と溶接残留応力におよぼす影響
- (4) 多層盛溶接中における溶接継手の拘束度の変化

なお、第2報としてはこの拘束試験法により互に近接した突合せ溶接継手の拘束度と溶接残留応力分布の測定結果よりその近接距離の限界許容量の決定について、第3報では4万トンタンカーの側部外板のブロック継手の拘束度と残留応力の実測を行ない拘束試験片での拘束度との比較によつて実船のブロック継手の危険度(安定度)を論じる予定である。

§ 2. 拘束溶接試験装置および方法

第1図(a)のように突合せ溶接継手の母材両端を完全に剛着した形式でこの間の距離(ここでは拘束距離と呼称する)は常に一定に保たれ溶接中の熱膨脹あるいは収縮の挙動に対して剛着部はすこしも変形せず伸縮はすべてこの拘束距離の間の板のみに許容される。

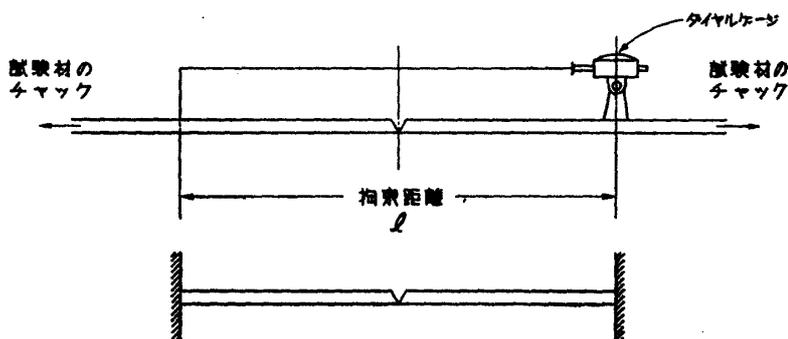
この principle を再現するものとして第1図(b)のごとく継手試験片を横形の Mohr 引張り試験機でくわ

* 木原 博、増淵興一両氏によつて理論付けられた平面上の“くいちがい”を apply したスリット型溶接試験片の拘束度⁽²⁾、あるいは渡辺正紀、佐藤邦彦、高木乙磨および麻生文太郎氏の実験での円輪型試験体およびスリット型拘束試験体での拘束度⁽³⁾、さらに国安常雄、鬼塚則義氏の測定された実船のマスターバットの収縮と固有収縮⁽⁵⁾との比較による拘束度の推定⁽⁴⁾等が発表されている。

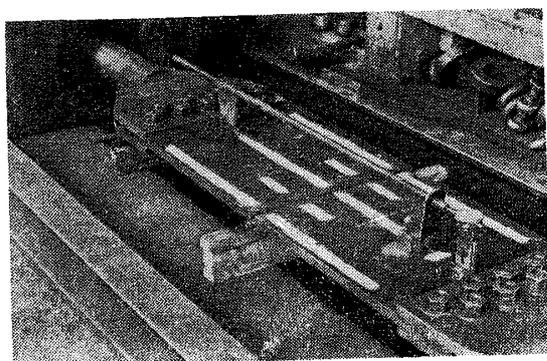
え1に相当する距離に図のようにダイヤルゲージをとりつけこの距離が常に一定になるよう溶接中および完全に冷却してしまふまで加重、抜重の微小な control をする。(これには多小の熟練を要し、今後、拘束溶接専用の試験機として拘束距離を常に一定にするような電子管による自動制御装置を作れば理想的である)

試験機は Mohr の 150t 型で普通 chain tester として使用されて

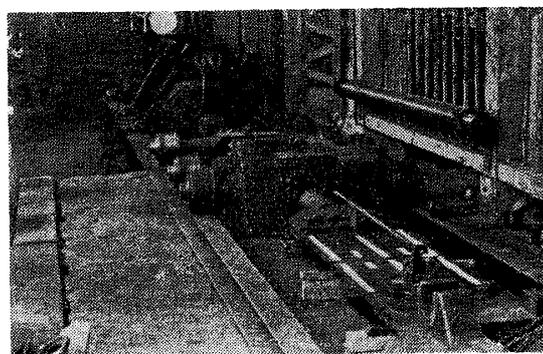
いる水圧による引張り方式のもので試験中の写真を第2図に図示する。



第1図 拘束溶接試験方法の機構



第2図 (a) 突合せ拘束溶接試験装置



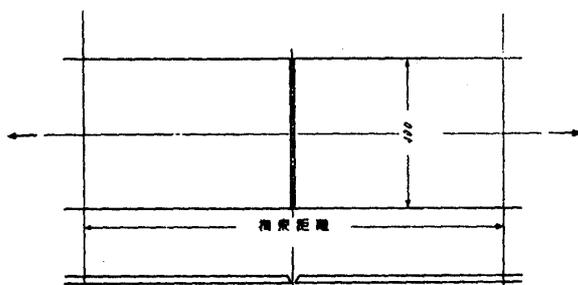
第2図(b) 試験片およびダイヤルゲージの取付状況

本実験に使用した試験片の材質は SM-41 で板厚は 20mm、板巾は 400mm としすべてロール方向に引張りが掛るようにしてある。標準とした拘束距離は 850mm であつてこの試験片の寸法および形状を第3図に示す。

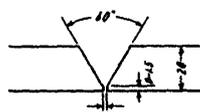
§ 3. 実験方法および測定方法

3.1 試験および溶接条件

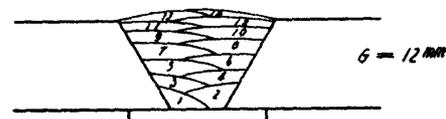
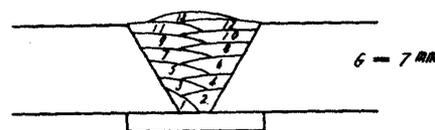
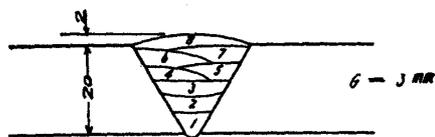
第1報に含まれる各種の試験片の条件は第1表に示す通りである。



クロス部



第3図 試験片寸法および形状



第4図 多層盛の溶着法

また、溶接条件としてはすべて同一の溶接工による下向き姿勢の溶接で第1層は4mm径、上層はすべて5mm径のイルミナイト溶接棒を使用し溶接電流はすべて適性値であつて条件を揃えるため層間温度はビードの最終位置の表面において $150^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ に統一した。

第1表 試験条件

試片番号	試験目的	板厚 mm	板幅 mm	拘束距離mm	ルート間隔 mm	溶接姿勢	使用溶接棒	層数
P-1	ひずみ分布	20	400	850	3	下向	イルミナイト 5~8mmφ	8
R-1	拘束度(拘束距離)の変化	20	400	300	3	"	"	8
R-2	"	20	400	400	3	"	"	8
R-3	"	20	400	600	3	"	"	8
R-4*	"	20	400	850	3	"	"	8
R-5	"	20	400	1,000	3	"	"	8
R-6	"	20	400	1,200	3	"	"	8
G-1*	ルート間隔の影響	20	400	850	3	"	"	8
G-2	"	20	400	850	7	"	"	13
G-3	"	20	400	850	12	"	"	14

* 同一試験片

突合せ継手のグループは 60° の開先角度で溶接はすべて片面だけとした。なおルート間隔7および12mmの突合せ継手は裏当金(6×25×400mm)を施してあつて各グループに対する溶着はすべて中央よりふり分けの多層盛りで層のおき方は第4図に示す通りである。

3.2 継手近傍の伸縮測定

継手近傍のひずみ変化の測定点を第5図に示す。

ゲージ長さはすべて20mmでひずみ変化はFritz Shtaeger社のContact-Type Strain Gaugeを使用した。このメータの感度は1/1000mmで実験の結果、再現性および測定精度はかなり良好と思われた。

3.3 残留応力の測定

残留応力の値はGunnertの装置を使用していわゆるTrepaning methodによつて開放されたひずみ ϵ_x (溶接線方向)、 ϵ_y (溶接線に直角方向)より計算した。

すなわち

$$\sigma_x = \frac{-E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu\epsilon_y) \quad (3.1)$$

$$\sigma_y = \frac{-E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu\epsilon_x) \quad (3.2)$$

ただし σ_x ; 溶接線方向の残留応力
 σ_y ; 溶接線と直角方向の残留応力
 E ; ヤング率, $2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$
 ν ; ポアソン比, 0.3

§ 4. 実験結果および考察 (その1)

4.1 拘束溶接継手近傍各部のひずみ変化および塑性変形, 弾性変形領域

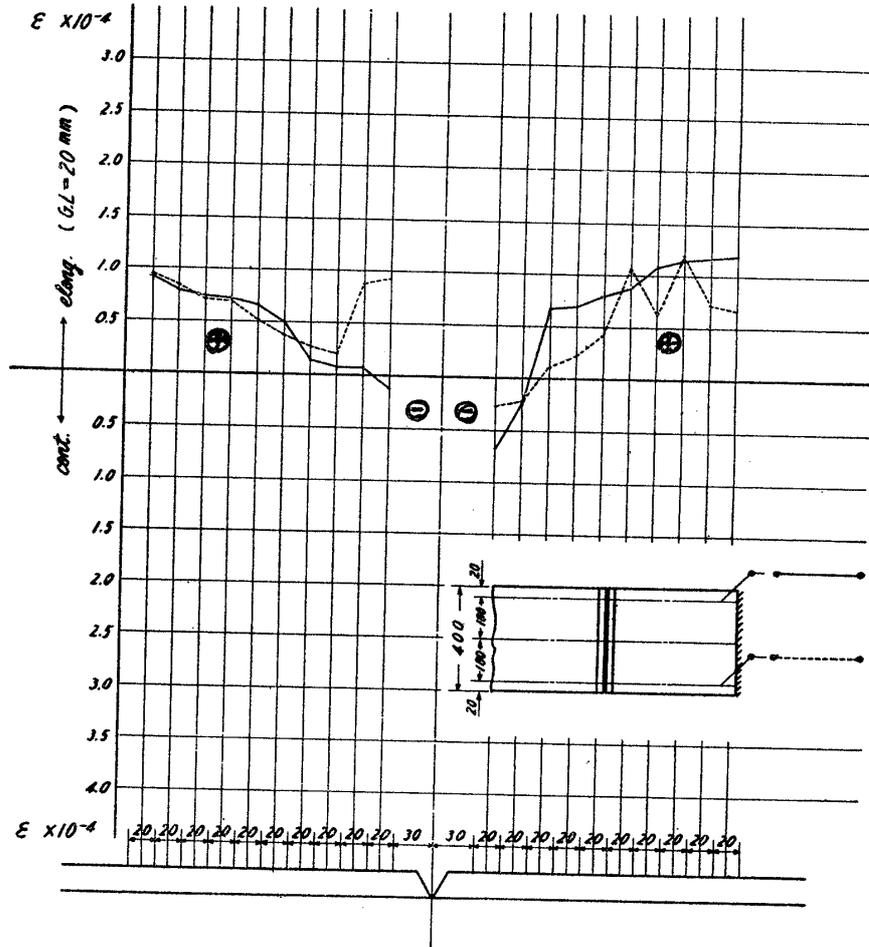
第5図に示す各点について溶接前の標点距離(20mm)溶接終了後、常温に冷却してからのG.Lおよび試験機の拘束(荷重)を取除いた後のG.Lを計測した結果、溶接前と拘束溶接終了後、冷却した後の間に生じた各部分のひずみ分布は第5図に示すような値として得られた。⊕の領域は伸された部分で⊖の領域は収縮している状態の範囲を示している。この図によつて明らかなように収縮した状態の領域は狭くて溶接線を中心に両側へ40~50mm宛程度のものであつて伸張域と収縮域との境には伸びも縮みもしていない状態に保たれている箇所が存在しているわけである。

今このひずみを ϵ' で表わし拘束溶接終了後試験機の荷重をrelaxしたときのひずみ(溶接前のG.Lに対する)を ϵ_e で表わすと拘束溶接によつて荷重をrelaxした後に残存する塑性ひずみ ϵ_p は次式で示される。

$$\text{すなわち,} \quad \epsilon_p = \epsilon' - \epsilon_e \quad (4.1)$$

ここで ϵ' 、 ϵ_e は

$$\epsilon' = \frac{(G.L)' - (G.L)_0}{(G.L)_0} \quad (4.2)$$



第5図 拘束状態における各部の伸縮率

$$\epsilon_e = \frac{(G.L)' - (G.L)''}{(G.L)_0} \tag{4.3}$$

ϵ_p はまた

$$\epsilon_p = \frac{(G.L)'' - (G.L)_0}{(G.L)_0} \tag{4.4}$$

- ただし $(G.L)_0$; 溶接前の標点間距離
- $(G.L)'$; 拘束溶接終了後の拘束状態における標点間距離
- $(G.L)''$; 拘束を relax した後の標点間距離

第6図はこのようにして求めた塑性ひずみ分布であるがこの分布から明らかなように塑性域は溶接線を中心にそれぞれ 150~170 mm 以内の範囲で塑性ひずみは溶接線に近づくに従って急激に増大する傾向を持つ分布を示している。この継手近傍における各層溶接直後および準定常状態における温度分布をFig. 6 に示す。

4.2 拘束状態における突合せ溶接継手の横収縮

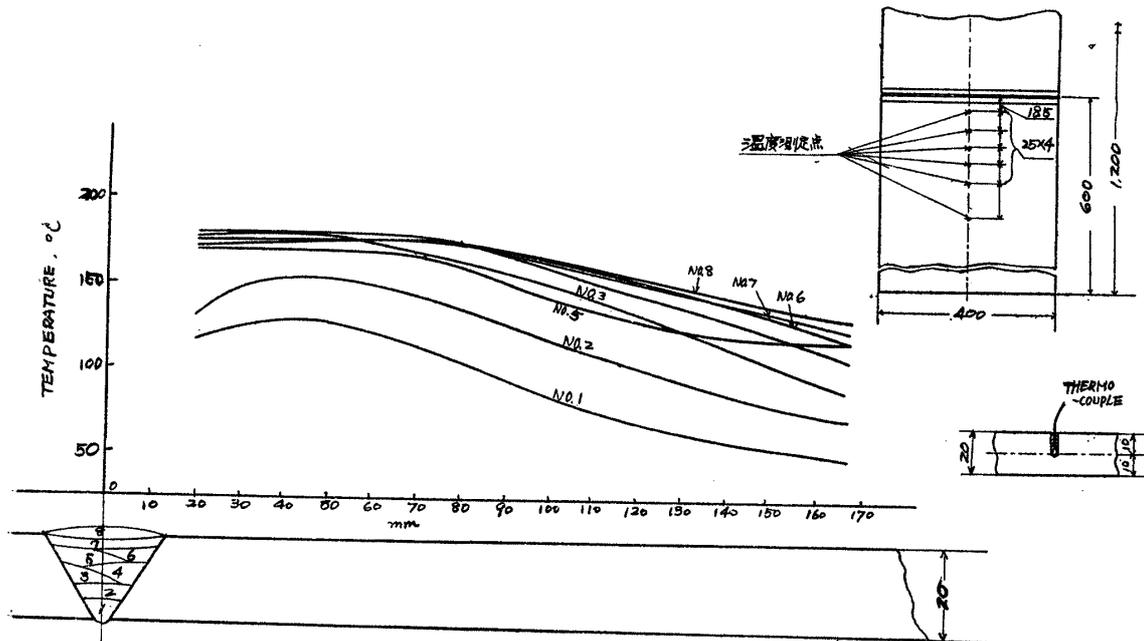
従来溶接継手の横収縮量は溶接線をまたいで任意の標点距離をとりその間の変化量を溶接継手の縮み量として考慮し、溶接構造物の縮み代の算定に利用されるのみならず溶接継手の拘束度を示すための手段の1つとして使われるとした説もあるが拘束の大きな突合せ溶接継手では標点間距離の如何によつて著しく異なるために上述の手段に取入れることが不都合であると考えたので、これについて説明してみよう。

第5図の graph を模型的に画くと第8図(a)になる ϵ' の分布においてB点(A点)における変位量(厳密に考えると変位してAあるいはB点になった位置における変位量) u_1 は

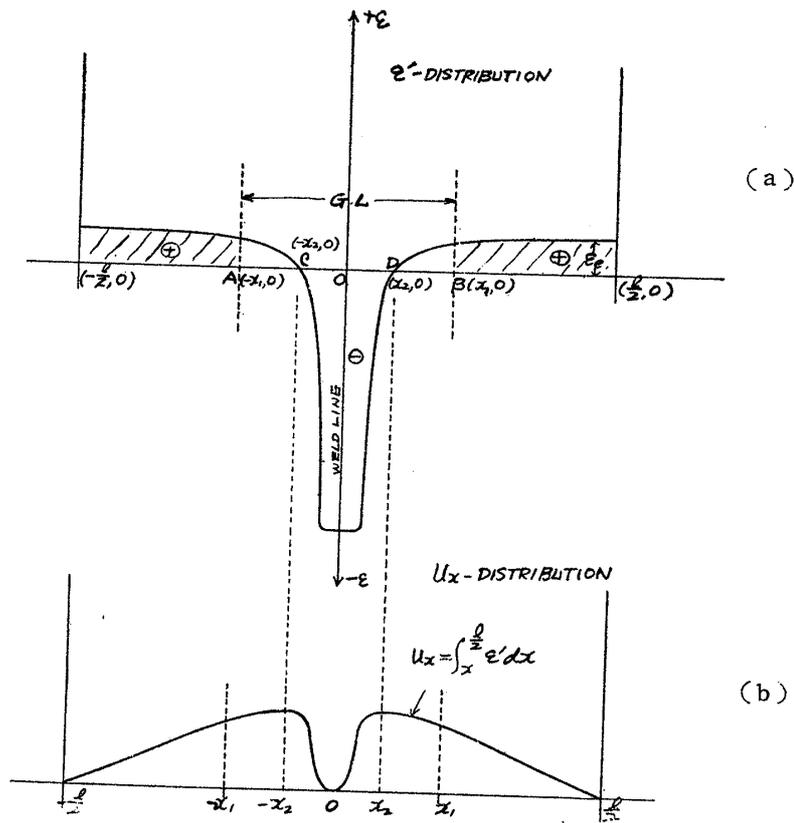
$$u_1 = \int_{x_1}^{l/2} \epsilon' dx \tag{4.5}$$

これは第8図(a)の hatching した面積に相当する。

この値に等しい変位量でそれぞれ A, B 点より中心部に向つて変位していることを意味している。



第7図 (b) 各層溶接後準定常状態に達したときの温度分布



第8図 拘束継手各部の伸び率および変位

したがって伸張域では $G.L$ の短い程、横収縮量として従来測定せられた値は大きくなっていくわけで ϵ' の分布の分らぬ限り $G.L$ を一定にしてもこの $G.L$ の変化量を横収縮量とすることは余り意味がないと思われる。

今、 l は常に一定であるので $-1/2 \rightarrow 1/2$ の間を連続な ϵ' -curve と考えて

$$\int_{-1/2}^{1/2} \epsilon' dx = 0 \tag{4.6}$$

となる筈であるので

$$\int_{-x_2}^{x_2} \epsilon' d_x = 2 \int_{x_2}^{l/2} \epsilon' d_x \quad (4.7)$$

x 点における変位 u_x はこのように $u_x = \int_x^{l/2} \epsilon' d_x$ (4.8)となるが今、第8図(a)より u_x の curveは

(4.8) 式の関係から第8図(b)のごとく得られる。

ϵ' は弾性域では両端部まで const でありこれを ϵ_0 とすれば

$$\epsilon_0 \cdot E \cdot t \cdot b = P \quad (4.8)$$

但し t ; 板厚, b ; 板巾, E ; ヤング率

はかんたんに一軸の引張りと考えて P は試験機にかかる reaction である。

4.3 拘束度のと決め

ここで考える拘束度とは外的なもので渡辺正紀氏の説⁽⁶⁾である内的拘束度はこの場合の拘束と考えない。したがって自由接手の拘束は0であると考えられるわけである。

一般に拘束溶接においては自由継手の収縮量だけ拘束距離間で引伸されたことになる。このとき試験機にかかる reaction load の大きいもの程、拘束としては大きいと考えると拘束度は形状からだけで決らずそのときの温度分布(例えば予熱等も含めて)にも左右された拘束度となるわけである。したがって例えば予熱をすることは継手の拘束をやわらげるといふ言葉がこの拘束度に対しては正しい使い方となるわけである。

拘束はこの reaction load を板の断面積で割った stress あるいは母材の弾性域で計測した reaction stress と同一の値となるわけである。

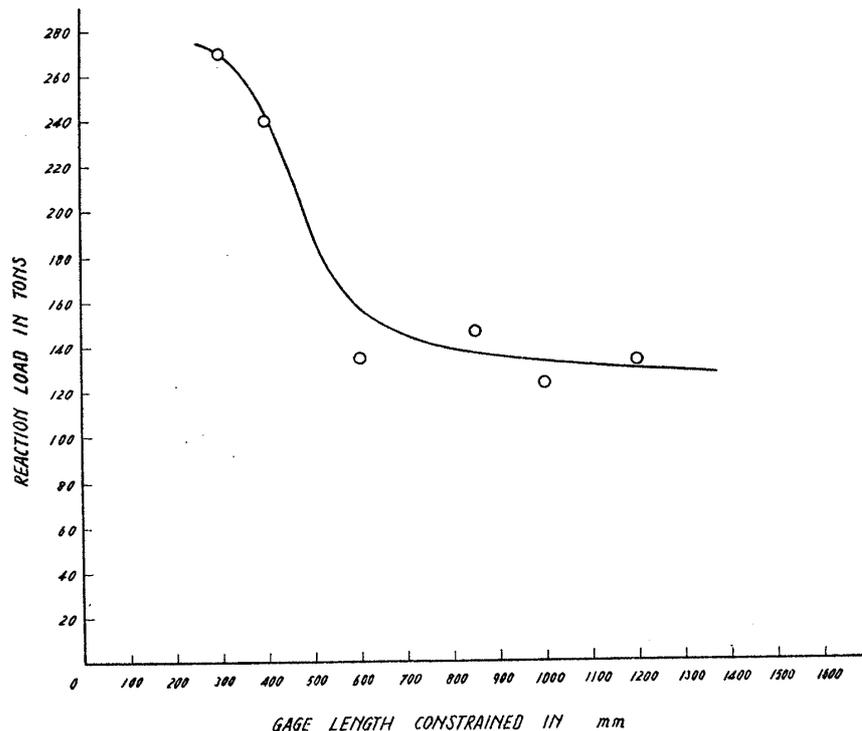
これを拘束度とした理由のもう1つは先述したように拘束溶接継手の横収縮量を採用した場合の非合理性のためである。

§ 5. 実験結果およびその考察(その2)

—— 溶接残留応力におよぼす拘束度の影響 ——

本拘束試験片において拘束距離を変えることによつて簡単に拘束度を変えることができるので拘束距離を今、300, 400, 600, 850, 1,000 および 1,200 mm とした場合についてそれぞれの拘束度と残留応力分布を求めた。

第9図は拘束距離と reaction load および拘束度との関係を示すがこの図から判るように拘束距離 600 mm 以上になると拘束度はやや減少してくる程度であるが勾配は非常にゆるやかになつている。

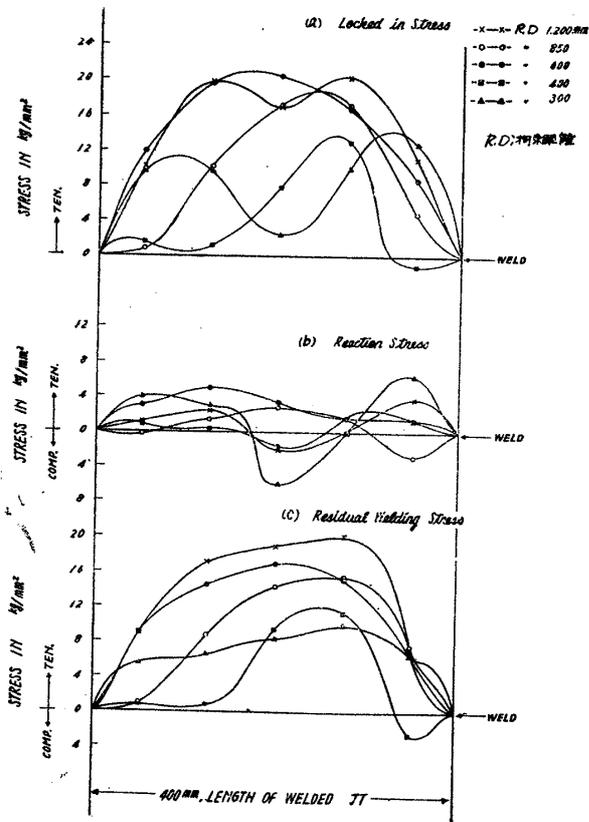


第9図 拘束距離と Reaction load との関係

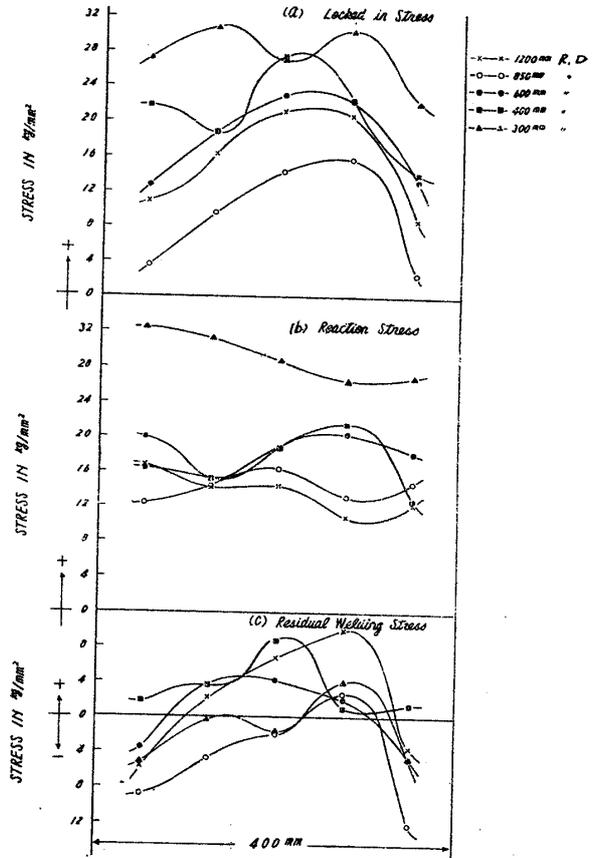
一方残留応力の分布としては第 10~13 図に示す実測値が得られ、それぞれ上段に locked-in stress (拘束を受けたままの残留応力)、中段に reaction stress (試験機に掛つている reaction load を取除いたときに relax された stress)。下段は residual welding stress (reaction load を取除いてなお残留している応力) を示している。

第 10 図をみると溶接ビード上の溶接線方向の残留応力は拘束度の大きいものがむしろ小さく現れている。これは溶接線直角方向の大きな reaction stress によるポアソン比の効きによるものであろう。

第 11 図は溶接ビード上の溶接線と直角方向の応力 σ_y 分布であるが locked-in stress は予想通り拘束度の極めて大きいものが大きくなっているが 600 mm 以上の拘束距離を持つ拘束試験ではかなり減少しており溶接ビード上の locked-in stress の平均値は大体第 9 図で示された試験機に掛つた reaction load から計算した reaction stress とほぼ一致した値であることが判る。



第 10 図 溶接ビード上の溶接線方向の残留応力 (σ_x) 分布



第 11 図 溶接ビード上の溶接線に直角方向の残留応力 (σ_y) 分布

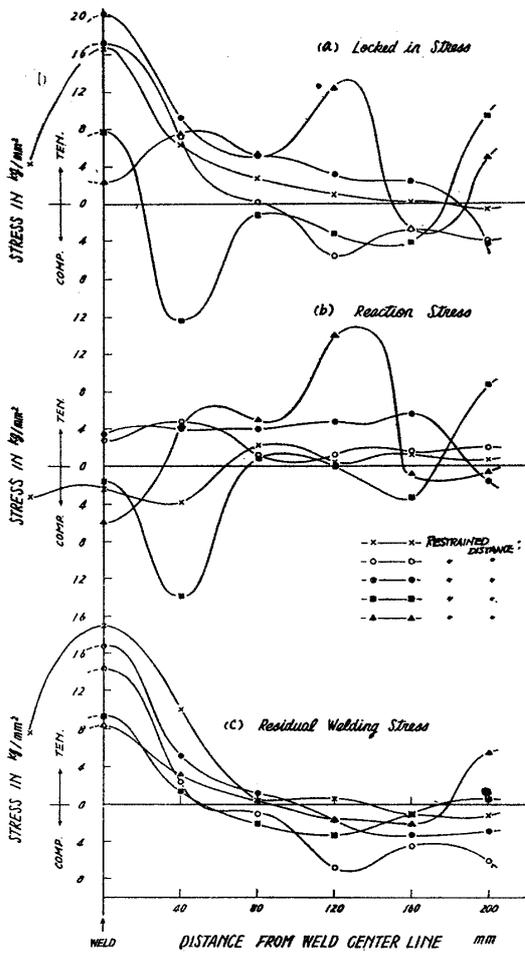
溶接線に対して直角方向の線上 (y 軸上) の σ_x 分布および σ_y 分布は第 12, 13 図に示すとおりである。

今、溶接ビード上の σ_x, σ_y の最大値 $\sigma_{xmax}, \sigma_{ymax}$ と拘束度との関係をグラフで示すと第 14 図のようになる。この場合拘束度 0 の $\sigma_{xmax}, \sigma_{ymax}$ は自由継手におけるビード上の残留応力のそれぞれの方向の最大値である。

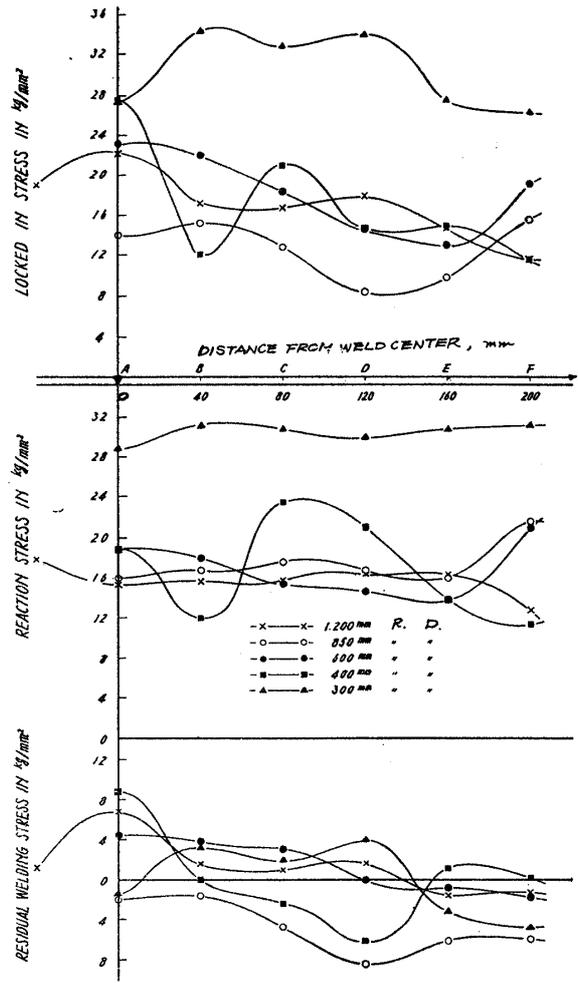
この関係から判るように拘束度の影響をうけて危険なのは σ_y の方で σ_x は全く問題ないことと σ_y の危険性も拘束度すなわち reaction stress を計測することによってある程度推定できることである。

このように拘束度および σ_y は拘束距離 400 あるいは 300 mm で急激に増加しているがこの原因についての解明は難かしいがこの特異現象の理由を解く鍵の 1 つとみられることはこの程度の強烈な拘束になると拘束間距離の鋼板全般にわたって降伏点あるいはそれ以上の応力範囲に入っており塑性領域だけの問題となる点であろう。

この点は今後の究明にまちたい。



第12図 溶接線に直角方向の線 (y 軸) 上の溶接線方向の残留応力(σ_x)分布

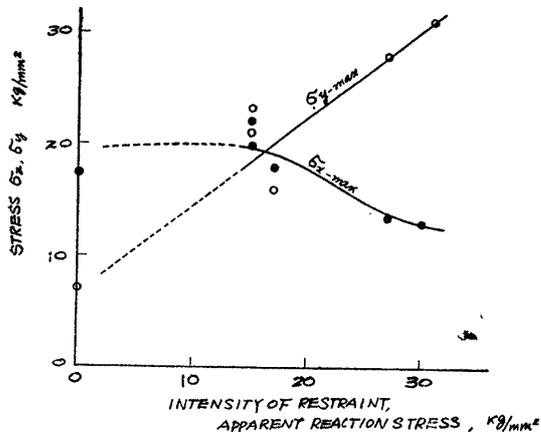


第13図 溶接線に直角方向の線 (y 軸) 上の直角方向の残留応力(σ_y)分布

§ 6. 実験結果および考察 (その 3)

— ルート間隔が拘束度と残留応力におよぼす影響 —

実際の船体ブロック継手において過大なルート間隔が生じた場合、そのまま溶接によつて間隙を充填することは危険であるとされている。

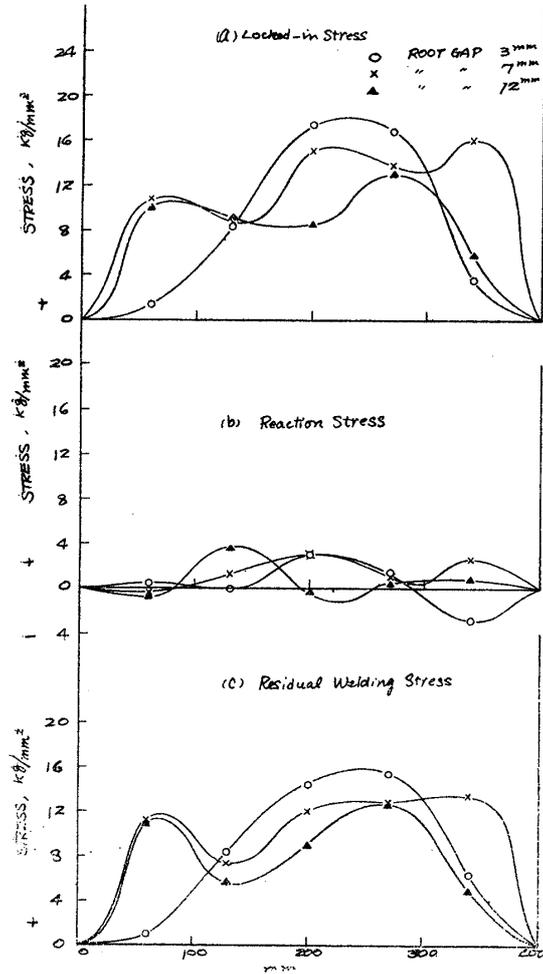


第14図 最大残留応力におよぼす拘束度 (Reaction stress) の影響

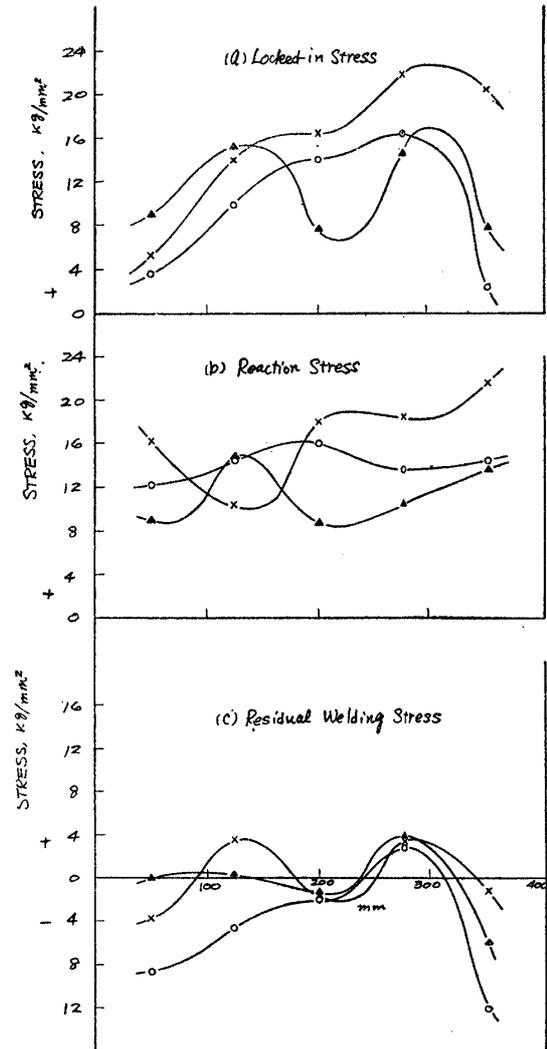
本拘束試験法によつて間隔が3mm, 7mm および 12mm の突合せ溶接によつて生じた残留応力分布を計測した結果は第15~18図に図示される。ただし拘束距離はいずれも850mmとした。なお本実験における7, 12mm のルート間隔の突合せ継手には裏当て板を施してある。

第19図はルート間隔と試験機で計測された reaction load および stress である。この図から判ることはルート間隔はほとんど拘束度を増加させる傾向はみられず、むしろ 12mm の間隔では減少している傾向になつている。

第15図(a) から残留応力の分布では間隔が 12mm になるとやはり低下している。3 および 7mm の両者の差はほとんどみられないようである。第16図より判ることは σ_y (溶接線に対して横方向の残留応力) がルート間隔 7mm でやや増加しているが 12mm になると 3mm の場合とほとんど変わらないことである。



第 15 図 溶接ビード上の溶接線方向の残留応力 (σ_x) 分布, 過大ルート間隔の影響



第 16 図 溶接ビード上の溶接線と直角方向の残留応力 (σ_y) 分布, 過大ルート間隔の影響

木原 博, 稲田忠雄両氏はすでにスリット型の拘束試験片においてルート間隔 2, 3 および 4mm の場合の残留応力を比較した結果を発表されたが⁽⁷⁾ これによれば Transverse stress σ_y はスリットの中央近傍でルート間隔の大きくなるにしたがって, ほんのわずか増大している (約 15 kg/mm² → 約 17 kg/mm²) に過ぎないようである。

本実験においてはルート間隔の種類が少ないので云い切ることは難かしいが前述の論文の結果を参考にさせて頂いてルート間隔は 7mm かその近くまでは過大になると σ_y はやや増加の徴があるが, やがて減少して 12mm になると元の 3mm とほぼ等しい値になるのではないかと推定される。

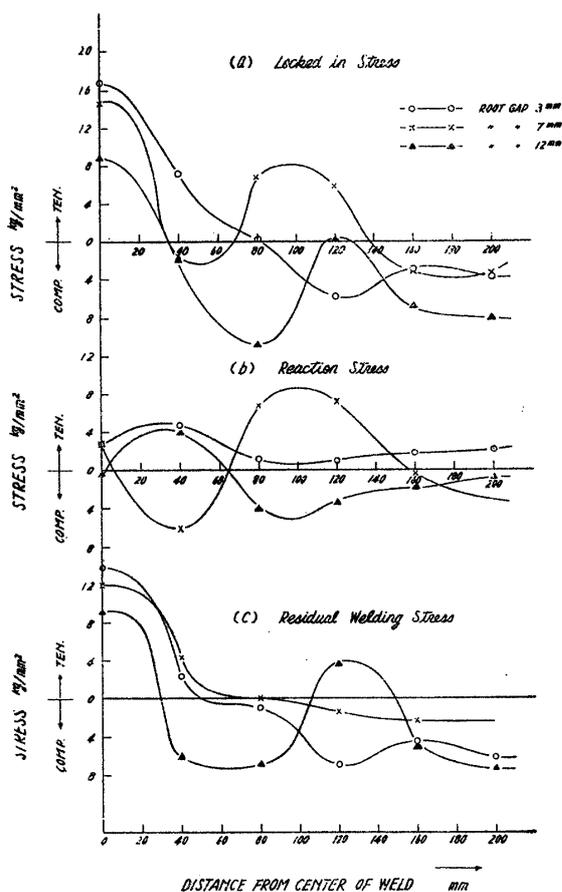
この原因は溶接のパスの数およびそれに伴う温度分布の相異等複雑なものでそのままでは解析は困難であるが恐らく多層盛の上層の下層に対する加熱の重畳による stress relieving action が過大になると大きく効いてくるためであろう。

§ 7. 実験結果および考察 (その 4)

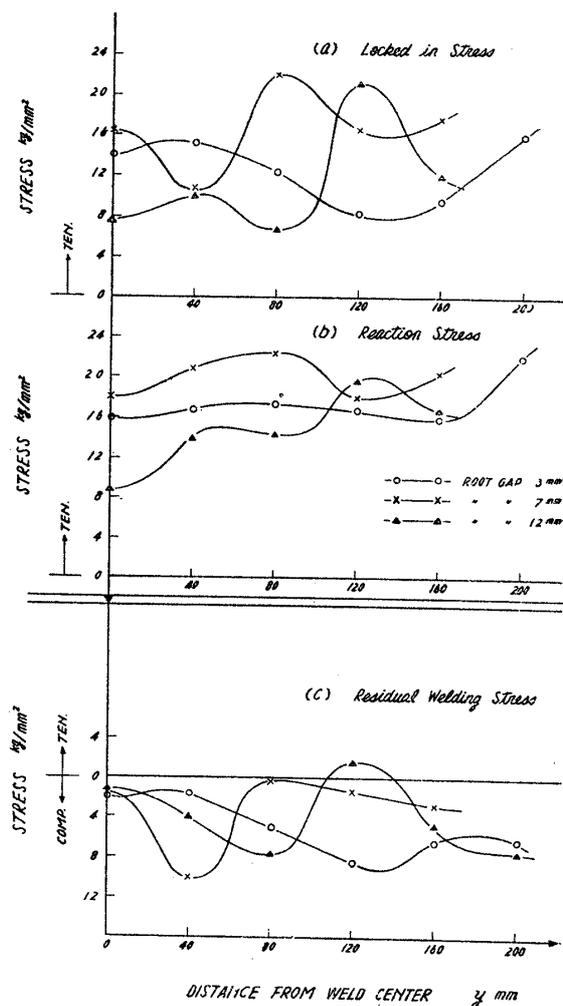
— 溶接中における拘束度の変化 —

多層盛溶接にあたって溶接中, この試験機に掛る reaction load を読むと第 20 図に示すようになる。

ルート間隔 3mm の場合では全 8 pass 巾 4 層目位から荷重は satulate してくる傾向にあるようである。ルート間隔 7 および 12mm の場合は結局パスの数が増しているのであつて, この図より 6~8 層目位にかけて



第 17 図 溶接線と直角方向の線 (y 軸) 上の溶接線方向の残留応力 (σ_x) 分布

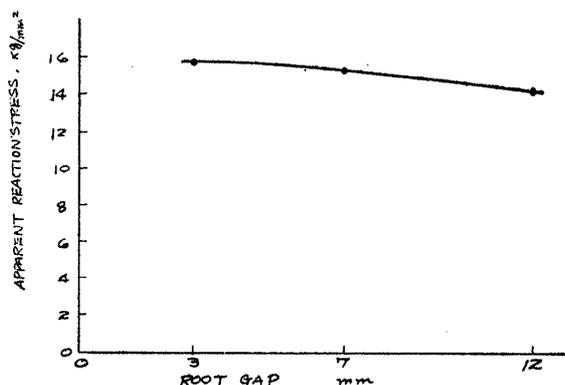


第 18 図 溶接線直角方向の線 (y 軸) 上の溶接線直角方向の残留応力 (σ_y) 分布

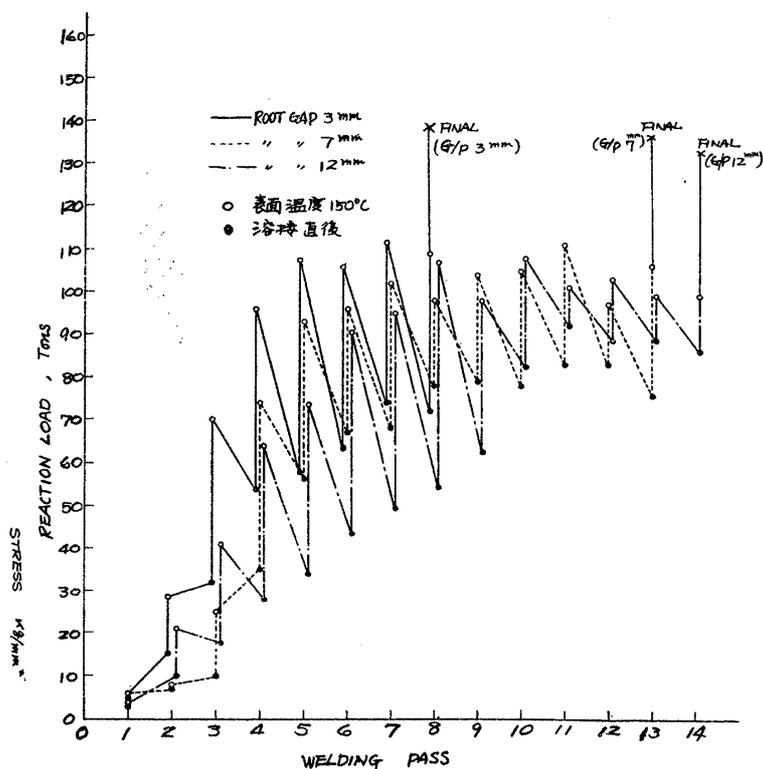
荷重が satulate して来ており、むしろある程度 pass が増せば少しずつ減少している傾向がみられる。

これは § 6 でも推測したことであるが多層盛による下層への stress relieving によるものであることがこの図からも推定できる。

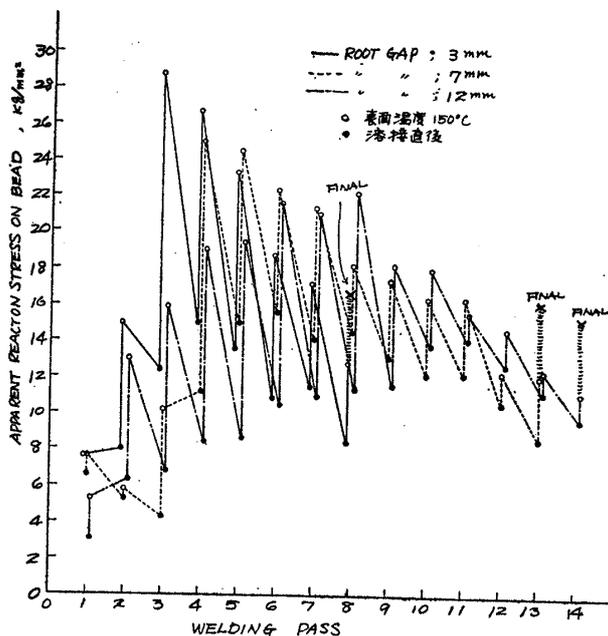
第 20 図の reaction load をそれぞれ溶接中の溶着金属喉厚 (macro etching によつて実測した) で割つて求めた溶接ビード上の reaction stress を示したのが第 21 図であつてこの graph は溶接過程におけるビード上



第 19 図 ルート間隔と拘束荷重、および Reaction stress との関係



第 20 図 溶接中における reaction load の変化



第 21 図 溶接中各パスにおけるビード上の reaction stress の変化

の reaction stress の変化を示すものとして面白いものでルール間隔 3mm の標準試験片では 3~4 層目で reaction stress の peak のが現われるようであるがこの点は板厚の 30~40% まで盛上げた溶接に相当する。(第 22 図) 大型船の現場ブロック継手で板厚の半分以下まで溶接を終了させ作業時間切れとなつたために翌日に持越すと溶接ビードが真二つに割れているのを翌朝発見された経験のある方は多々おられると思うがこれらの reaction stress の状態からみても溶接を途中で止めて放置することの危険性は充分うかがえることである。

また第 21 図のより、溶接終了後完全に冷却してしまうまでに reaction stress は 8~9 kg/mm² も増加しており溶着金属の拡散性水素量の比較的多いこともあわせ考えればこの冷却過程に亀裂が入ることも充分考えられることである。

§ 8. 結 論

以上の結果を要約して次の結論に纏めることができる。

1. 両端完全剛着の突合せ拘束溶接試験法を新たに提案したがこの方法によれば拘束度が直ちに求められ、各種の系統的な実験が合理的になし得られる、とくに溶接過程での拘束度の変遷が簡単に得られることと拘束度の

変化も容易に与えることができる点で優れていると思われる。

2. 拘束溶接における溶接による伸縮を測定し、同時に塑性変形および弾性変形領域を見出した。またこのような拘束溶接においては溶接継手の収縮量を任意の標点距離としてとることが余り意味のないことを理論的に説明した。

3. 本実験によつて拘束度はすなわち reaction stress とすべきであつてこの考え方で少くとも残留応力関係の拘束度を定義すればいろいろの研究における拘束の影響に関する実験が極めて simple になつてくることを説明した。

4. 大きな拘束状態においては拘束度の増加によつて溶接ビード上の σ_x (溶接線方向の残留応力) はむしろ減少するが σ_y (溶接線に直角方向, すなわち拘束方向) は増加する。またその増加量は reaction stress の増加量に匹敵するものとみてよいようであつて拘束度 (reaction stress) を計測することによつて locked-in stress の σ_y による危険性もかなり明瞭に推測できることが判つた。

5. ルート間隔の過大なる突合せ拘束溶接ではそのルート間隔は拘束度にほとんど影響を与えない。むしろ 12mm 程度に過大となるとこれがやや減少している。これは多層盛の重畳加熱による residual stress relieving の作用の効果によるものであろう。また、溶接ビード上の σ_y の最大値がルート間隔 7mm でやや大きくなる傾向がみられ、今までに発表された実験結果⁽⁷⁾も合せ考えるとある σ_y 程度までは漸次、増加の傾向にありその後減少するのではないかと推定される。

6. 溶接中における拘束度の変化をよむことができたが標準の継手グループでは板厚の 30~40% まで溶着金属を盛上げたところが溶接ビード上の reaction stress が極大となる。また溶接中における reaction load はこの層以上になると satulate してあまり増加して来なくなり、むしろ過大ルート間隔では溶接パス数の増加によつて 5. に述べた加熱の重畳効果が効いてやや減少する傾向にある。

溶接終了後完全に冷却してしまうまでに 8~9kg/mm² 程度も stress が増加しておりこの過程で溶接亀裂の入ることの可能性も推察できる。

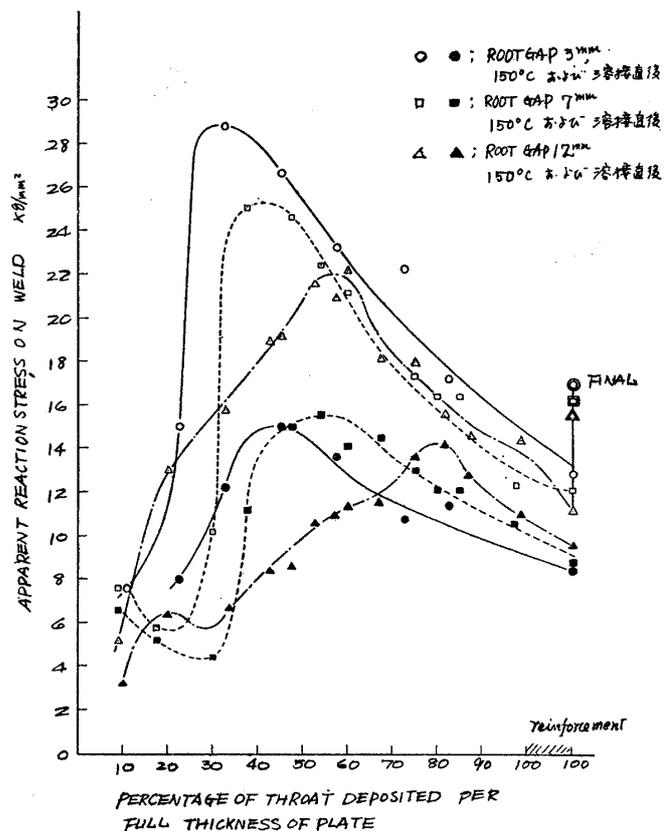
§ 9. 後 記

本拘束試験法の発案のヒントを与えて下さつた三菱日本重工業株式会社研究部次長岡崎正臣氏に厚く感謝申し上げますとともに横浜国立大学工学部造船工学科、南 義夫教授の指導の下に卒業研究として実験遂行に熱心に御協力頂いた昭和 33 年度当時 4 年学生、天利富治、中村茂之両氏、および横浜造船所研究部材料試験所、村山技師、造船工作部鉸鉸溶接工場 栗原幸雄氏等の実際の実験担当の労に対して深謝申し上げます次第である。

さらに、本研究の中間報告を日本溶接協会造船部電気溶接委員会、溶接施行法委員会に発表した委員長、渡辺正紀教授その他委員各位より有益な御助言を賜つたことを感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 武藤昌太郎；複数船台における油槽船建造方式，造船協会論文集，第 104 号，昭和 34 年 1 月
- (2) 木原 博，増淵興一；溶接叢書第 2 巻，溶接変形と残留応力，その他
- (3) 渡辺正紀，佐藤邦彦，高木乙麿，麻生文太郎；船体ブロック溶接継手の拘束度ならびに収縮，造船協



第 22 図 溶接金属の喉厚割合に対するビード上の reaction stress の変化

- 会論文集, 第 104 号, 昭和 34 年 1 月
- (4) 国安常雄, 鬼塚則義; 中型貨物船のマスターバット接手建造法における拘束度および残留応力について, 造船協会論文集, 第 104 号, 昭和 34 年 1 月
 - (5) 渡辺正紀, 佐藤邦彦; 溶接々手の収縮変形に関する研究, 溶接学会誌第 25 巻 8 号
同氏; 溶接々手の収縮変形, 溶接学会誌第 26 巻 4 号
 - (6) 例えば渡辺正紀; 溶接学会誌, 第 16 巻 No.7,8,9 その他
 - (7) H. Kihara, T. Kusuda: Effect of Root Gap on Residual Stress and Shrinkage in Restrained Butt Joint, 1.1. W Doc. X-221-59 June 1959
-