(昭和 34 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

溶接残留応力が脆性破壊におよぼす影響の研究

(第 4 報 脆性亀裂伝播方向への影響)

正員 木 原 博*

正員 安 藤 良 夫**

Studies on the Effect of Residual Welding Stress on Brittle Fracture of Steel, Part IV

By Hiroshi Kihara, Member

Yoshio Ando, Member

Abstract

The fourth series of test was performed to investigate the effect of residual welding stress on brittle fracture of steel, especially on the propagating direction of brittle crack.

Oblique welded specimens were prepared and half of them were stress relieved by annealing. Fracture test procedure was same as slow notch bend test. In as-welded specimens, propagating directions of brittle crack were deviated at welded joint, but in annealed specimens, there was little deviation.

To show the change of principal stress direction, photoelastic experiment was also performed.

Our former conclusion that residual welding stress effects on brittle fracture, was recognized in such a problem—propagating direction of brittle crack.

1. ま え が き

これまでに報告した第 1～3 報⁽¹⁾⁻⁽³⁾においては、残留応力の主応力方向と荷重による主応力方向の一致した静的曲げ型溶接試験片について、各種残留応力除去法が脆性破壊におよぼす影響を調べた。

切欠引張り試験や切欠曲げ試験において、脆性亀裂は最大公称応力の生ずる断面で、最大主応力にほぼ直角に生ずることが知られている。もし脆性亀裂が最大主応力と直角方向に伝播するならば、溶接継手が脆性亀裂伝播方向に対して斜にある場合、溶接残留応力の影響によつて脆性亀裂の進路は曲るはずである。本報告においては残留応力が脆性破壊に影響をおよぼすことを亀裂伝播方向の面から取扱つた。

2. 主 応 力 方 向

溶接線方向に最大主応力 σ_R だけが存在している溶接継手を Fig 1 (a) に示すように、これと θ をなす方向に引張るか、または (b) に示すように曲げ、脆性亀裂が図の下側から溶接継手と斜に交わるように伝播して来る場合を考える。亀裂が残留応力の存在する領域に達したときには、荷重による引張り応力 σ_0 と、それと θ の角度をなす残留応力 σ_R の両者が重量した応力場を亀裂が伝播する。曲げの場合も比較的小さい領域を考えれば、一様応力の引張りの場合と同一と見なしうる。

残留応力を σ_R 荷重による応力 σ_0 と同一方向の引張り応力 σ_1 と、それと直角方向の σ_2 、剪断応力 τ に分けると

Fig. 1 Superposition of stress

原稿受付 昭和 34 年 7 月 8 日

* 東京大学工学部教授

** 東京大学生産技術研究所助教授

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_R \cos^2 \theta \\ \sigma_2 &= \sigma_R \sin^2 \theta \\ \tau &= -\sigma_R \sin \theta \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。これらに σ_0 を重量した場合の主応力の方向を φ とすると、 φ は次式から求められる。

$$\tan 2\varphi = \frac{-2\tau}{\sigma_1 + \sigma_0 - \sigma_2} = \frac{2 \sin \theta \cos \theta}{\cos^2 \theta - \sin^2 \theta + \frac{\sigma_0}{\sigma_R}} \quad (2)$$

$\theta=0$ のときは、(2) 式より $\varphi=0$ となり、主応力の方向は σ_0 の方向と一致する。この場合には残留応力が存在しても亀裂伝播方向は変わらない。

Fig. 2 Direction of principal stress

一般には(2)式は θ と (σ_0/σ_R) の関数で、これらを変化した場合の φ の変化を Fig. 2 に示す。

残留応力が存在するときに荷重を加えると、主応力の方向は荷重方向にくらべて φ だけ偏っているが、もし脆性亀裂の伝播方向が最大主応力と直角方向であるならば、溶接線に対して斜方向から脆性亀裂が伝播してきたとき残留応力のある場合は亀裂伝播方向が変化し、残留応力を除去すれば亀裂伝播方向は変化しないはずである。

3. 光弾性実験

長辺と 45° をなす方向に残留応力の主応力が存在する試験片の両端を支持して曲げた場合、合成主応力の方向が初めとどのように変るかを見るために、厚さ 6mm のエポキシ樹脂カケンライトを引

張り試験片状に切削加工し、Fig. 3 に示すような荷重枠に取付け、光弾性装置(理研計器製)で、縞を数えながら引張り、溶着部に相当する部分に応力の加わった状態で、自由状態にある母材相当部をアラルダイト D を用いて接着し、接着剤が固まった後に枠から取外し、Fig. 4 のような斜溶接試験片の光弾性用モデルを加工し

Fig. 3 Loading frame

Fig. 4 Photoelastic model

た。接着部で板が平滑にならなかったため、サンドペーパーで平滑に仕上げ、無荷重状態と、140mm の支点間隔の中央集中荷重の場合について光弾性装置で等色線図 (Fig. 5) を撮影し、平面偏光を用いて主応力方向一定を示す等傾線図 (Fig. 6) を求め、それから主応力線図 (Fig. 7) を求めた。これより溶接のままの状態では溶接部附近は溶接線方向、およびその直交方向に主応力が存在するが、曲げを加えると主応力方向が残留応力と荷重方向に変わることが判る。

a) no load condition

b) loaded condition

Fig. 5 Isochromatic lines

a) no load condition

a) no load condition

b) loaded condition

Fig. 6 Isoclinic lines

b) loaded condition

Fig. 7 Lines of principal stress

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of steel tested

code	chemical composition %					yield point	tensile strength	elongation
letter	C	Si	Mn	P	S	kg/mm ²	kg/mm ²	%
YC	.18	.08	.80	.014	.024	26.5	45.7	32.0

4. 鋼板を用いた実験

使用鋼材は板厚 22mm のセミキルド鋼 YC（八幡製鉄製）で、その化学成分と機械的性質を Table 1 に示す。

Fig. 8 に示すような溶接試験板 4 枚を作製したが、溶接開先は Fig. 9 のような非対称 X 型開先とし、溶接順序は Fig. 10 に示すように、溶接 4 層終了後、裏はつりを行ない、裏溶接仕上げ後に表溶接を仕上げた。変形防止のためには、仮づけを行わず、押え馬によって拘束して溶接を行なったが、溶接条件は Table 2 に示す通りである。

Fig. 8 Welded test panel

Fig. 9 Preparation of weld

Fig. 10 Sequence of pass

Table 2.	Details of welding procedure for steel YC
Workshop	Mitsubishi Nagasaki Shipyard
Welder	No.1 AT-R, 47kVA, 27.5kW, 500 A a.c. welder (Hitachi Works)
	No.2 KP-500, 45kVA, 23kW, 500 A, a.c. welder (Osaka Transformer Co.)
Electrode	B-17, 5 mm dia. (produced 1958. 7. 17, Kobe Steel Works)
	B-17, 6 mm dia. (produced 1958. 11. 19, ")
Temperature	5~6°C
Preparation	unsymetric double vee, see Fig. 2
Welding. current, voltage and speed	

pass*	electrode dia. mm	current A	arc voltage V	speed mm/min
1	5	200~210	28	174~211
2	5	245~255	28	205~300
3	6	300~315	33	195~243
4	6	290~315	33	201~406
5	6	300~325	33	285~384
6	6	300~320	33	292~345
7	6	295~310	33	205~230
8	6	300~315	33	266~425
9	6	310	33	287~380
10	6	300~310	33	260~314
11	6	290~310	33	222~260

* see Fig. 10

4枚の溶接試験板のうち2枚は溶接のまま、2枚は650°C 1時間の応力焼鈍を行なった。応力焼鈍は2枚を水平に重ねて炉の中央におき、上側の試験板に熱電対を取付けて時間—温度曲線を自記させたが、その結果をFig. 11に示す。

溶接試験板よりFig. 12に示すような斜溶接試験片を採取したが、溶接中心線は試験片の長辺に対して45°傾斜しており、試験片中心点を通っている。母材部につけた切欠は脆性亀裂の発生を容易にするために、45°鋭

Fig. 11 Annealing condition

く研いだ刃物を3方向から圧入して形成した。試験片寸法は標準の切欠曲げ試験片の1.5倍の340×105×22mmとした。

溶接試験片のほかに標準寸法225×70×22mmの母材試験片を用意したが、溶接試験片と同様に長辺と圧延方向のなす角を45°にとつた。

破壊試験は静的切欠曲げ試験に準じて行なった。

長辺がロール方向と45°になるように採取した母材の標準型静的切欠曲げ試験片の破断結果はFig. 13に示

Fig. 12 Oblique welded test specimen

す通りで、これより遷移温度を求めると、

$$T_{II} = +14^{\circ}\text{C}$$

$$T_I = -14^{\circ}\text{C}$$

となる。

Fig. 14 Fracture appearance of typical specimens

Fig. 13 Results of slow notch bend test of parent metal

Fig. 15 Maximum deviation angle of brittle crack in oblique welded specimens

斜溶接試験片の破断状況の例は Fig. 14 の写真に示す通りで、この面を表側とし、溶着部における脆性亀裂の最大偏向角を計測して置点すると Fig. 15 がえられる。ここで最大偏向角は亀裂の細かい凹凸は除いた順整曲線の切線の最大偏向角をとった。溶接のままの試験片の場合は、焼鈍試験片にくらべて、偏向角は各温度とも相当大きいことが判る。このような偏向角の明白な差異は、脆性亀裂が切欠先端の応力集中部を除いたその附近の応力場の最大主応力と直角方向に伝播すると考えてよいことを示すものと考えられ、その意味でも残留応力は脆性破壊に影響をおよぼすといえることができる。

5. 結 論

脆性亀裂は公称最大主応力と直角方向に伝播すると考えてよく、したがって溶接残留応力が主応力方向に影響を与えるような場合には脆性破壊伝播方向に影響をおよぼす。

あ と が き

本研究を行うに当り、試験片製作に絶大なる御協力を頂いた三菱造船長崎造船所秋友素身造船工作部長はじめ関係各位に厚く感謝致します。実験遂行に協力した、東京大学生産技術研究所小畑和彦、飛田正蔵、長谷川功三、生田目真の諸君の労に対し謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 木原, 安藤 : 造船協会論文集第 100 号 (1957)
- (2) 木原, 安藤 : 造船協会論文集第 102 号 (1958)
- (3) 木原, 安藤 : 造船協会論文集第 105 号 (1959)