

隅肉溶接継手の実験¹⁾

正 貞 櫻 井 季 男*

AN EXPERIMENT ON FILLET WELDED JOINTS.

(JSCE Oct. 1951)

Sueo Sakurai C.E. Member.

Synopsis By an experiment on the test specimens of 3 kinds of welded joints connected by lateral, frontal and oblique (45°) fillets respectively, which have equal throat sectional areas, the author measured the deformation resulting from repeated tensile static load, strength of the joint and inclination of the breaking surface of fillet.

From these measured results, the author made comparative studies in regard to the following items.

1 Strength of the joint and the max. shearing stress in fillet at the ultimate load. 2 Inclination of the breaking surface of fillet. 3 The max. shearing stress in fillet at the elastic limit of load. 4 Residual, elastic and total deformations of the joint. 5 Apparent modulus of elasticity of the joint.

要旨 喉厚断面積の等しい、側面、前面、45°斜方の3種類の隅肉溶接継手の試験片について、繰返引張静荷重に基く歪と強さの測定結果から、3種類の継手の性状について比較研究したものである。

I 緒言

鋼材を溶接で連結する場合、突合せ溶接の方が隅肉溶接よりも優秀であるから、できれば前者のみを用うべきであるが、構造上突合せ溶接使用不可能な場合、リベット構造物を溶接で補強する場合又はリベットと溶接を混用して局部的に溶接を有利に使用する場合等に隅肉溶接が用いられる。

隅肉溶接には荷重方向と溶接線との相対的位置関係によって側面隅肉、前面隅肉及び斜方隅肉に分類せられる。各種の隅肉溶接そのもの性質の研究はもちろん必要であるが、かかる溶接を用いた継手としての性質の研究は構造物の強さ並びに変形に、従つて2次応力に影響を与えるものである。

II 実験の目的

上述3種の隅肉溶接に関して、多くの外国人及び仲教授²⁾等によつて報告されている、従来の諸研究は各別個に強さ及び応力分布について行われているので、強さの比較はある程度できるが、継手としての歪について比較したものが殆んど見当らない。継手としての歪は構造物の2次応力、並びにリベットと溶接を併用又は混用する場合、両者の協力状況に関係する。従つて各種の隅肉溶接継手の試験片について、実験的研究を行い、3種の隅肉溶接継手としての歪及び強さを比

較することが本実験の目的である。

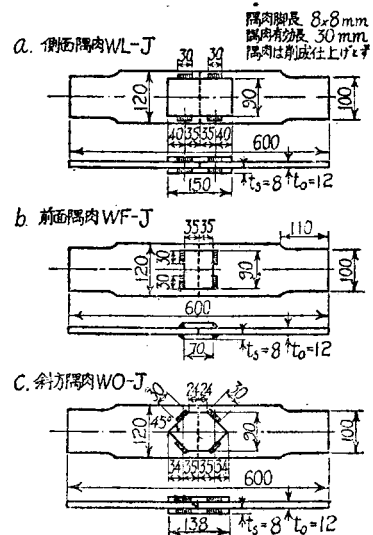
III 実験

(1) 試験片の種類、設計及び製作

a) 種類 側面隅肉(WL-J)、前面隅肉(WF-J)及び45°斜方隅肉(WO-J)、3種の継手を各々3個ずつ製作した。

b) 設計 3種の比較を合理的にできるように設計した。その構造は図-1に示すように、主板及び添接板

図-1 隅肉溶接継手試験片構造図



の断面積が等しい当金継手とした。隅肉は脚長 8mm の電弧溶接とし有効長 30mm になるように削成したから、隅肉の全喉厚断面積は等しい。ビードは継手の

* 神戸大学教授、工学部土木教室

両側表裏に対して対称的に配列し、ビードの重心は継面から、35mm 離れたが、中心線からの離れは若干相異なる。

c) 製作 本試験片は横河橋梁芝浦工場に依頼して製作した。川崎重工製 SS41 鋼板を用い、使用溶接棒は神戸製鋼の B17、 $\phi 4\text{mm}$ とし、溶着金属の引張強さ 48.0kg/mm^2 、伸率 31.7%、衝撃 (シャルピー) $13.5\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$ である。使用溶接機は日立製作所直流電弧溶接機、7.5kW で、電流は 130~140A、電圧は 32~35V とした。溶接肉盛は 2 層で、表面で継面に対して片側のビードを施工した後、同じ側の裏面におけるビードを施工した。それから継面に対して他の側の表面のビードを施工した後その裏面のビードを施工して溶接を完了した。溶接手は一人で行った。溶接は正確に所定のプリズム形になるように削成仕上げした。

(2) 実験及びその結果

本実験は京都大学において、Olsen 100 ton 試験機 (Short ton) を用い、Marten's Extensometer 及び Dial Gage によつて、標点距離 200mm における伸び歪を計測した。荷重は 1.25t 及び 2.5t 刻みの繰返静荷重をかけた。いずれも溶接部が破壊した。実験結果から全歪 (Δl_t) を残留歪 (Δl_r) と弾性歪 (Δl_e) とに分離して、各継手 3 個の平均値について、継手の各荷重歪線図を画けば図-2 及び 3のごとくなる。

(3) 実験結果に対する考察

a) 歪の比較 図-2 及び 図-3 から各荷重状態を通じて、各歪とも WL-J が最大、WO-J が最小、WF-J は中間値であるが、WO-J に近い歪を示している。

破壊荷重に対する全歪は WL-J が最大、WF-J が最小、WO-J が中間値で、その百分率は

$$\text{WL-J} : \text{WO-J} : \text{WF-J} = 100 : 42 : 29$$

となる。

図-2

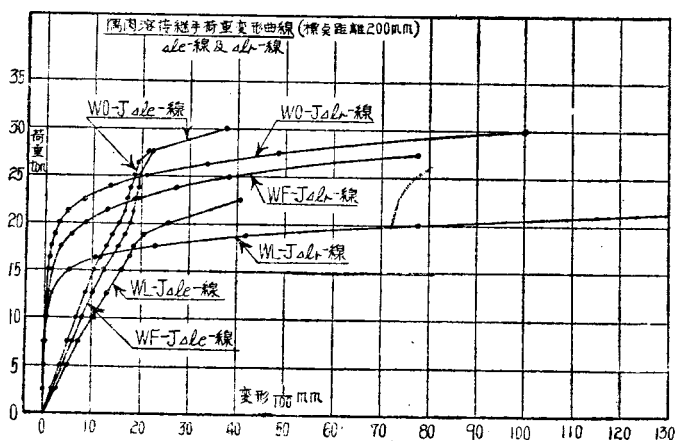


図-3

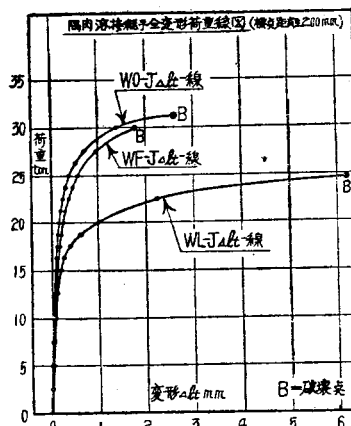


図-2 の各継手の Δl_e -線には直線部はつきりしないから、便宜上残留歪が 0.01% に達する所を継手としての弾性限と仮定するのが妥当である。こうして弾性限荷重が定まり、弾性限荷重に対する弾性歪の計測値から、応力分布を均等と仮定して、継手としての見掛け弾性係数 \bar{E} を算定すれば表-1 のごとくなる。これによつて継手としての弾性的剛さを比較することができる。

表-1 継手の極限荷重、弾性限荷重並びに継手としての見掛け弾性係数

継手の種類	極限荷重 P_u (ton)	弾性限荷重 P_e (ton)	$\frac{P_e}{P_u} \times 100$ (%)	弾性限弾性歪 (mm)	継手としての見掛け弾性係数 \bar{E} (kg/cm ²)	最大偏差 (%)	\bar{E} の比較 (%)
WL-J	24.50	13.26	54.1	136.3	1270	6.0	100
WF-J	22.87	16.19	54.1	129.4	1690	3.4	133.1
WO-J	31.10	18.93	60.9	130.0	1080	4.2	88.0

歪が大きく剛性が乏しい側面隅肉溶接が、リベットと併用する場合に両者が最もよく協力し合う。リベット

継手は側面隅肉継手よりも更に歪が大きく剛性が乏しいからである。

b) 応力及び破断面傾斜角の比較 隅肉溶接の応力算定方法が、多くの研究者によつて発表されているが、筆者は実験結果から考察して、次の仮定のもとに応力を算定した。1. 隅肉の破壊は最大剪断応力による。2. 破壊は一平面上において生ずる。3. 破壊荷重に対する剪断応力は、その平面に均等に分布する。

イ) 前面隅肉: 上述の仮定の外に剪断応力は溶接の長さについて均等と仮定

すれば、任意断面における剪断応力 τ は次の式で得られる。

$$\tau = \frac{P \sin \theta}{a \Sigma l / \cos(\theta - 45^\circ)} = A \cdot \sin \theta \cos(\theta - 45^\circ) \dots (1)$$

式中、 P : 継手によつて伝達される引張力、 θ : τ の生ずる面と主板面に直角なる面となす角、 a , l : それぞれ隅肉溶接の喉厚、長さ、 A : $P/a \Sigma l$ をあらわす。等脚隅肉に生ずる最大剪断応力を(1)式によつて計算すれば、 $\theta = 67^\circ 30'$ の断面すなわち主板面との角が $22^\circ 30'$ の断面において生じ、喉厚断面における応力より 17.2% 大きい。本実験において、主板面との角 $22^\circ 3'$ の断面で破断した。

ロ) 側面隅肉: 上述の仮定の外に溶着金属は母材と同様にフックの法則に従い、弾性限内では溶接部の歪は剪断力に比例すると仮定して、W. Troelsch⁵⁾ の方法によつて応力を算定した。すなわち側面隅肉の剪断応力は隅肉の端部で大きく中間で小さくなる。本実験においては、主板と添接板の断面積は等しいから、 τ_c は隅肉の中央において生じ、 τ_e は隅肉の両端において等しくなる。それぞれ θ が 45° の断面において最小、最大となる。各剪断応力は次の式で得られる。

$$\tau_e = \frac{PbD \cos(\theta - 45^\circ)}{FEa} \left[\frac{1 + \cosh l/b}{\sinh l/b} \right] = B \cos(\theta - 45^\circ) \dots (2)$$

$$\tau_c = \frac{PbD \cos(\theta - 45^\circ)}{FEa \sinh l/2b} \dots (3)$$

式中、 τ_e , τ_c : それぞれ隅肉の両端部、中央部における剪断応力、 E : ヤング係数、 D : Detrusion Ratio、 F : 主板断面積すなわち添接板全断面積、 n : 継手における隅肉の数=4、 b : $\sqrt{FE/2nD}$,

$$B: \frac{PbD}{FEa} \left[\frac{1 + \cosh l/b}{\sinh l/b} \right] \text{をあらわす。}$$

破壊時には、応力の分布は塑性変形をうけて均等に分布すると仮定すれば、次の式で得られる。

$$\tau = \frac{P}{a \Sigma l} \dots (4)$$

Detrusion Ratio は実験により定めらるべき常数であつて、従来多くの研究者によつて異なり、 $0.5 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ の値を示している。 D の大きさによつて τ の分布状況が変る。Weiskopf 及び Milton Male⁶⁾ の理論的研究に従えば、等脚隅肉において $D = \frac{3}{4} G$ である。剪断弾性係数 $G = 0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ と仮定すれば、 $D = 0.6 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ となる。又田中豊博士⁷⁾ は実験結果として同じ値を発表しているので、この値を採用することにした。

本実験において、主板面との角 $41^\circ 15'$ の断面で破断した。

ハ) 斜方隅肉: 斜方隅肉において、伝達される引張力 P を隅肉に平行及び垂直分力 T 及び N に分解すれば、斜方隅肉は T に対しては側面隅肉となり、 N に対しては前面隅肉となる。従つて T から生ずる剪断応力 τ_t 及び N から生ずる剪断応力 τ_n はそれぞれ上述の方法によつて算定することができる。従つて P から生ずる剪断応力 τ は両者を合成すればよい。

$$\tau = \sqrt{\tau_t^2 + \tau_n^2} \dots (5)$$

但し τ_t は隅肉の長さについて均等でなく且つ底を通る各傾斜断面について異なり、又 τ_n は隅肉の長さにわたつて均等だが、底を通る各傾斜断面について異なつてゐる。(1), (2) 及び (5) 式から

$$\frac{d\tau}{d\theta} = 0, \frac{d^2\tau}{d\theta^2} < 0 \text{ の条件から } \tau_{\max} \text{ を生ずる断面傾斜角 } \theta \text{ は次の式で得られる。}$$

$$\frac{\sin \theta (\cos \theta + \sin 3\theta)}{\cos 2\theta} = -\frac{B^2}{A^2} \left. \begin{aligned} & A^2 (\cos 2\theta + 3 \sin 4\theta) - B^2 2 \sin 2\theta < 0 \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

この式から本実験において、 $\theta = 57^\circ 54'$ すなわち主板面となす角 $32^\circ 6'$ の断面に τ_{\max} が生ずる。

又塑性変形をうける破断時には、(1), (4), (5) 式から同様にして τ_{\max} の生ずる断面傾斜角 θ は次の式で得られる。

$$\frac{\sin \theta (\cos \theta + \sin 3\theta)}{\cos 2\theta} = -1 \dots (7)$$

この式から $\theta = 59^\circ 12'$ すなわち主板面となす角 $130^\circ 48'$ の断面で破断することになるが、本実験において $29^\circ 50'$ の断面で破断した。

ニ) 総合結果: 弾性限及び極限荷重状態における各継手の実測値に基いて、上述の計算方法により、隅肉に生ずる最大剪断応力並びにその τ_{\max} の生ずる断面傾斜角等を算定すれば、表-2のごとくなる。弾性限荷重状態においては WL-J 及び WO-J の隅肉に生ずる局部的の τ_{\max} は WF-J におけるものよりも増大することが判る。

表-2 隅肉溶接の耐荷重百分率、剪断応力並びに隅肉破断面の傾斜面

別の面から隅肉に生ずる τ_{\max} が隅肉の種類にかゝわらず一定と仮定すれば、斜方隅肉における $\tau_{\max} = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2}$ 一定の関係から、強さ P_u の大きさが定まり、

3種の隅肉の強さの百分率が表-2に併記せるとく

継手の種類	WL-J	WF-J	WO-J
弾重	100	1220	1428
性限	最大剪断力 τ_{\max} %	181	174
	最大剪断力 τ_{\max} %	100	96.1
荷重状態	τ_{\max} の生ずる断面と主板面との傾斜角	45°	$22^\circ 30'$
	極限荷重 P_u %	100	1220
極限荷重状態	最大引張力 σ_{\max} %	302	370
	最大引張力 σ_{\max} %	100	122.0
荷重状態	τ_{\max} の生ずる断面と主板面との傾斜角	45°	$22^\circ 30'$
	τ_{\max} の生ずる断面と主板面との傾斜角	$41^\circ 15'$	$22^\circ 3'$
併致破断の報告の P_u %	100	113.4	
場内及び場外の傾斜角の実測値	$41^\circ 15'$	$22^\circ 3'$	

なり、仲教授の報告結果とよく一致している。しかるに本実験においては τ_{max} が一定でないから、前面及び斜方隅肉の側面隅肉に対する強さの百分率は τ_{max} が一定と仮定した場合より大きくなつた。

以上は隅肉の喉厚断面積が等しい継手の比較であつて、応力分布が不均等な隅肉の長さの相違によつて、結果を異にするものと考えられる。

IV 附言

本実験に関する考察の範囲において、次の如く結論することができる。

1. 隅肉溶接の破壊荷重、及び破壊荷重に対して隅肉に生ずる最大剪断応力は、ともに 45° 斜方隅肉が最大、前面隅肉が中位、側面隅肉が最小である。

2. 隅肉の破断面は τ_{max} の生ずる断面と一致し、その断面と主版面との角度は、 45° 斜方隅肉は $30^\circ 48'$ 、側面隅肉は $45^\circ 0'$ 、前面隅肉は $22^\circ 30'$ である。

3. 弾性限荷重は 45° 斜方隅肉が最大、前面隅肉が中位、側面隅肉が最小であるが弾性限荷重に対する最大剪断応力は 45° 斜方隅肉が最大、側面隅肉が中位で、応力が均等に分布する前面隅肉が最小である。

4. 各荷重状態を通じて、隅肉の全歪、残留歪及び弾性歪はいずれも側面隅肉が最大、前面隅肉が中位、 45° 斜方隅肉が最小である。但し破壊荷重に対する全歪は側面隅肉が最大、 45° 斜方隅肉が中位、前面隅肉が最小である。

5. 隅肉溶接継手としての見掛け弾性係数は 45° 斜方隅肉が最大、前面隅肉が中位、側面隅肉が最小である。すなわち弾性的に 45° 斜方隅肉が最も剛く、前面隅肉が中位で、側面隅肉の剛性が最も弱い。

附言1. 本実験において実験数が少く、これから正当な結論することは妥当を欠くかもしれないが、3種類の継手の間に明瞭な相違点が得られたことと、前に行つた実験⁷⁾及び後に行つた実験⁸⁾と大体一致するので、報告することにした。歪及び耐荷重の相違の理由考察については今後の研究にまかたいと思つている。

附言2. 本実験は兵庫県土木部の援助によるものであり、文部省科学研究費交付金をうくる溶接鋼橋の研究の一部である。京大小西教授の御教示を忝うしたものであり、試験片の製作は東京横河橋梁芝浦工場の御厚意に預つたもので、各位に対し深甚の謝意を表する。

- 1) 第3回関西工学連合講演会(1950.10.14)において「隅肉溶接の比較に関する実験」の題目で講演
- 2) 仲威雄外3名: 側面隅肉溶接に関する実験: 建築雑誌大会論文集 1935.4
仲威雄: 斜方隅肉溶接の強さについて: 建築学会論文集第1号 1936
仲威雄: 側面隅肉溶接に対する一考察: 溶接協会誌第8巻2号 1938
- 3) 著者: リベットと隅肉溶接とを併用した継手の実験的研究: 土木学会論文集第6号(1951.8)
- 8) 岡田実: 溶接T接手に関する研究: 溶接協会誌第7巻10号 1937
- 5) W. Troelsch: Distribution of shear in welded connections. Proc. A.S.C.E. 1932.
- 6) W.H. Weiskopf & Mieton Male: Stress Distribution in Side-Welded Joints.: Welding Journal. 1930
- 7) 平井敦: 鋼橋第1巻 1950
- 8) 著者: 「隅肉溶接継手の比較について」: 第4回関西工学連合講演会(1951.10.13)において講演(昭.26.7.2)

8号のUDCについて

8号のUDCは下記の通り訂正追加致します。

報文	日本学術会議の近況について	UDC 061.12(52)
	衝合溶接の疲労強度決定に関する一統計的考察	UDC 624.078.4:621.791.056.121:539.43.016
	底流砂又は伏流に関する一考察	UDC 627.157:624.131.6
	繋船岸の築造限界について	UDC 627.33.053:629.12.071.1
	路盤とのコンクリート舗装の亀裂	UDC 625.84.041:625.731.1
	鉄道連絡船の衝撃によるケーソン岸壁の移動について	UDC 627.333.042.8
資料	干拓地の排水樋門に対する一考察	UDC 627.533.4:626.860
	高低測量において直接地盤高を得る改良箱尺について	UDC 526.951.8
	流量年表の信頼度について	UDC 627.133
抄録	大堰堤用コンクリートの過去現在及び将来	UDC 627.823.666.971.1
	若し原子爆弾が投下されたらシカゴの給水はどうなるか	UDC 628.1:628.515
	鉄筋の付着強度及び定着についてのアメリカの示方書の改正	UDC 666.98:624.014.2(083.13)