Fig. 7 Heat properties of light coated type electrodes

ろ棒の種類によつて著しく変る。すなわちスラグ系では熔着金属 1g 当りの熔接熱量が必ずしも電力に支配されることなしに或る一定の範囲におさまる傾きがある。これに反しガスシールド系及び薄塗布系では熔着金属 1g 当りの熔接熱量が電力と共に急速に増加し、その傾向はガスシールド系よりも薄塗布系において甚だしい。

5) 一方熔接棒の最も適正な使用状態下の電流または入力力はガスシールド系薄塗布系では比較的小さく、スラグ系では比較的高い、故にガスシールド系または薄塗布系の熔

接熱量はスラグ系よりも少く、熔着金属、1 瓦当りの熔接熱量は良質の棒では種類によらず略相似た範囲におさまるものと推察される。しかしながら適正電流以上に電流を高めることの熱的な悪影響はスラグ系よりもガスシールド系または薄塗布系において更に甚だしくなるであろう。

謝辞 本研究の自動熔接装置製作について電気試験所杉原技官の御援助を賜つた。ここに深謝の意を表する次第である。

隅肉熔接継手の比較について*

櫻 井 季 男**

On Comparison with Fillet Welded Joints*

By S. Sakurai**

Abstract

By experiments on the test specimens of 7 kinds of butt welded joints connected by lateral, frontal and oblique (45°) fillets respectively or combinatively which have equal throat sectional areas, the author measured the deformation resulting from 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.

Strength of the joint, the max. shearing stress in fillet at the elastic and ultimate loads, inclination of the breaking surface of fillet, deformations of the joint and apparent modulus of elasticity of the joint.

I 緒 言

鋼構造物において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または溶接とリベット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、斜方隅肉に分類せられる。各種の隅肉溶接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、従つて二次応力について肝要である。

II 研究の目的

各種の隅肉溶接について多くの外国人¹⁾及び仲博士等²⁾⁻⁶⁾によつて報告されている従来の諸研究は、各種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たらない。継手としての歪は構造物の二次応力、並びに溶接とリベットを併用また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及びこれらを組合した継手の試験片について、実験的研究を行い、隅肉溶接継手としての歪及び強さ等を比較することによつて溶接構造物の設計に寄与せしめるのが本研究の目的である。

III 実験第一部

(a) 試験片の種類、設計及び製作

側面隅肉 (WL-J)、前面隅肉 (WF-J)、45° 斜方隅肉 (WO-J) の継手をおのおの 3 個ずつ製作した。その構造は図 1 に示すように主板、添接板の断面積が等しい当金継手とし、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いくらか異つている。

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 SS 41 鋼板を用い、使用溶接棒は神戸製鋼 B17、φ4mm とし、熔着金属の引張強さ 48.0kg/mm²、伸率 31.7%、衝撃 (シャルピー) 1.35kg-m/cm² である。使用溶接

機は日立製作所直流電弧溶接機、7.5-KW で、電流は 130~140A、電圧は 23-35V 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。溶接手は一人で行つた。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。

(b) 実験及びその結果

本実験は京都大学において Olsen 100t 試験機 (short

a. 側面隅肉 WL-J

b. 前面隅肉 WF-J

c. 斜方隅肉 WO-J

図 1 基本継手 (第一部) 試験片構造図 (隅肉脚長 8×8mm)

図 2 基本継手の荷重歪 ($\Delta l_r, \Delta l_e$) 線図 (標点距離 200mm)

* 第四回関西工学連合講演会 (1951. 10. 13) において発表

** 正員、神戸大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Kobe University.

図3 基本継手の荷重全歪 (Δl_t) 線図
(標点距離 200mm)

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、いづれ
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
になる。

(c) 実験結果に対する考察

(i) 歪の比較

図-2及び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。

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

$$WL-J : WO-J : WF-J = 100 : 42 : 29$$

となる。

図-2の各継手の Δl_e -線には直線部が判然としないから
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
假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
と假定して、継手としての見掛け弾性係数 $\bar{E}$ を算定すれば
表-1のごとくになる。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。

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。⁷⁾

(ii) 応力及び破断面傾斜角の比較

隅肉溶接の応力算定方法は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假定のもと
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
応力はその平面の均等に分布する。

(イ) 前面隅肉

前面隅肉の応力分布について、種々の研究^{8) 9) 10)} が行
われているが、上述の假定の外に剪断応力は溶接の長さに
ついて均等と假定すれば、任意断面における剪断応力 τ は
次の式で得られる。

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

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のなす角、 a , l : それぞれ隅肉
溶接の喉厚、長さ。

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。¹⁰⁾ 本実験においては主板面との角 $22^\circ 30'$ の断面
において破断した。

(ロ) 側面隅肉

側面隅肉の応力分布についても、多くの研究報告^{11) 12)}
があるが、上述の假定の外に溶着金属は母材と同様にフツ
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
すると假定して、W. Troelsch¹³⁾ 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
きく途中で小さくなる。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_e は隅肉長の中央において生じ τ_e
は隅肉長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。

$$\tau_e = \frac{P b D \cos (\theta - 45^\circ)}{F E a \sinh \frac{l}{2b}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

表-1 継手 (第一部) 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

(標点距離 200mm)

継手の種類	極 限 荷 重 P_u (short ton)	弾 性 限 荷 重 P_e (short ton)	$\frac{P_e}{P_u} \times 100$ %	弾性限における 計 測 弾 性 歪 1/1000mm	継手としての見 掛け弾性係数 $\bar{E}$ t/cm ²	最 大 偏 差	$\bar{E}$ の %
WL-J	24.50	13.26	54.1	136.3	1270	6.0	100
WF-J	29.89	16.18	54.1	129.4	1690	3.4	133.1
WO-J	31.10	18.93	60.9	130.0	1880	4.2	148.0

$$\tau_e = \frac{PbD \cos(\theta - 45)}{FEa} \left[\frac{1 + \cosh \frac{l}{b}}{\sinh \frac{l}{b}} \right] \dots\dots\dots (3)$$

式中、 τ_e ・ τ_e ：それぞれ隅肉の中央部、両端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、 b ： $\sqrt{FE/2nD}$ 、 n ：継手における隅肉の数＝4。

破壊時には応力の分布は塑性歪をうけて均等に分布すると假定すれば、次の式で得られる。

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

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、 $0.5 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 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 Male¹⁵⁾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 $G = 0.8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ と假定すれば、 $D = 0.6 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ となる。又田中豊博士¹⁶⁾は実験結果として同じ値を發表しているの、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

仲博士⁵⁾に従い、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_e 及び N から生ずる剪断応力 τ_n はそれぞれ前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 は兩者を合成すればよい。

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

但し τ_e 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、また 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っている。従つて(1)、(3)、(5)式から $d\tau/d\theta = 0$ 、 $d^2\tau/d\theta^2 < 0$ の条件から τ_{max} を生ずる断面傾斜角 θ を求めれば、本試験片において $\theta = 57^\circ 54'$ すなわち主板面となす角 $32^\circ 6'$ の断面に τ_{max} が生ずることが判る。

また塑性歪を受ける破断時には(1)、(4)、(5)式から同様にして τ_{max} を生ずる断面傾斜角 θ を求めれば、 $\theta = 59^\circ 12'$ すなわち主板面となす角 $30^\circ 48'$ の断面で破断することになるが、本実験では $29^\circ 50'$ 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、隅肉に生ずる剪断応力並びに τ_{max} を生ずる断面傾斜角を算定すれば、表-2のごとくなる。弾性限荷重状態においてWL-J及びWO-Jの隅肉に生ずる局所的の τ_{max} はWF-Jにおけるものよりも増大することが判る。

別の面から隅肉に生ずる τ_{max} が隅肉の種類にかかわらず一定と假定すれば、斜方隅肉における $\tau_{max} = \sqrt{\tau_n^2 + \tau_e^2} = \text{一定}$ 、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 P_u の百分率が表-2のごとくなり仲博士の報告結果⁵⁾とよく一致している。然し本実験においては 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

表-2 継手（第一部）の強さの百分率、剪断応力並びに τ_{max} の断面傾斜角

継 手 の 種 類			WL-J	WF-J	WO-J
弾 性 限 荷 重 状 態	弾性限荷重 P_e の%		100	122.0	142.8
	隅肉の剪断應力 kg/mm ²	$\tau_{min} \sim \tau_{max}$	15.5~18.1	17.4	20.3~22.4
		%	85.6~100	96.1	112.2~123.8
	τ_{max} の生ずる断面と主板面となす角度		45°	22° 30′	32° 6′
極 限 荷 重 状 態	極限荷重 P_u の%		100	122.0	126.9
	隅肉の 最大剪断應力 kg/mm ²	τ_{max}	30.2	32.0	34.5
		%	100	106.0	114.2
	τ_{max} の熔着金属の引張強さに対する%		62.9	66.7	71.9
	τ_{max} の生ずる断面と主板面となす角度		45°	22° 30′	30° 48′
	τ_{max} を一定と假定した時の P_u の%		100	110.6	117.2
仲博士の報告結果の P_u の%		100	113.4	117.0	
隅肉破断面の傾斜角の実測値		42° 15′	22° 30′	29° 50′	

さの百分率は τ_{max} が一定と假定した増合より大きくなった。

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 実験第二部

(a) 試験片の種類、設計及び製作

上述の実験第一部において 3 種の基本的隅肉継手の性質が判明したので、実験第二部の試験片はそれらを組合した実用的継手の性質を研究するために、図-4 に示すような構造とし隅肉の脚長 6mm、有効長は いづれも 140mm とし

図 4 実用継手（第二部）試験片構造図
（隅肉脚長 6×6mm）

たが隅肉の全喉厚断面積の種類による実測値偏差は $\pm 1.5\%$ となつた。継手はすべて溶接部で破断するように設計した。

SW-J（側面隅肉と前面隅肉の組合せ）、RW-J（側面と円形隅肉）、LW-J（側面と溝側面）、OW-J（側面と 45 斜方）の 4 種類の継手をおのおの 3 個ずつ製作した。

本試験は中日本重工神戸造船所に依頼して製作した。SS41 鋼板を用い、使用溶接棒は神戸製鋼 B17、 $\phi 4\text{mm}$ とし、溶着金属の引張強さ 48.9kg/mm²、降伏点 38.2kg/mm²、伸率 33.4% である。使用溶接機は日立製作所交流電弧溶接機、15KW で、電流は 170~175A、電圧は 28~30V とした。溶接肉盛は 2 層で表面の溶接を全部完了してから裏面の溶接を施工した。隅肉は正確に所定のプリズム形になるように削成仕上げを行つた。

(b) 実験及びその結果

本実験は第一部と同じ試験機を用い、静荷重によつて生ずる標点距離 260mm における伸び歪を dial gage 2 個によつて計測した。その結果の平均値から荷重歪線図を画けば図-5 のごとくなる。極限荷重、降伏点荷重、喉厚断面における剪断応力及び破断時における伸び歪の実測値は表-3 のごとくなる。溝溶接は施工上完全を求めることができなかったのですべてその点において破断した。

(c) 実験結果に対する考察

図 5 実用継手の荷重全歪 (Δl_t) 線図
（標点距離 260mm）

表-3 継手（第二部）の極限荷重、降伏荷重、剪断應力及び伸び歪

継手の種類	隅肉の全喉厚断面積 cm ²	極限荷重 P_u (short ton)	降伏荷重 P_y (short ton)	$\frac{P_y}{P_u} \times 100$ %	P_u に対して喉厚断面に生ずる平均剪断應力			破断時の伸び歪 (標点距離 260mm)		
					τ kg/mm ²	%	偏差 %	Δl mm	%	偏差 %
SW-J	11.96	50.65	42.58	84.1	38.5	100	+5.4 -4.9	7.21	100	+13.0 -25.0
RW-J	12.28	52.33	43.86	83.8	38.7	100.5	+3.6 -2.1	7.12	98.8	+18.0 +10.8
LW-J	11.93	48.52	42.50	87.6	36.9	95.8	+2.4 -1.4	8.79	121.9	+16.4 -14.6
OW-J	12.23	60.38	43.73	72.4	44.8	116.4	+5.6 -6.7	16.41	227.6	+14.6 -23.0

図-5から降伏点荷重以下では、次の事が指摘できる。OW-J の歪は RW-J の歪とあまり異ならない。SW-J の歪は不安定で小荷重に対して最小だが荷重が増すに従って著しく増大する。LW-J の歪は各荷重を通じ大体において最大と見なされる。また表3から破壊時では、RW-J と SW-J の歪がほぼ等しく最小、LW-J の歪がそれより少し大きく OW-J の歪が甚だ大きいことが指摘できる。すなわち OW-J の歪の特性は弾性的に比較的剛いにもかかわらず、しかも塑性変形が大きく破壊に対する粘りが大きいことである。

次に表3から継手の強さ、降伏点及び隅肉の喉厚断面における剪断応力について、いずれも LW-J が最小、SW-J と RW-J とは殆んど差異がなく中位である。OW-J の降伏点は RW-J と異ならないが、強さ及び剪断応力が最大である。

以上の結果は実験第一部の結果より推論しうるものと大体一致するものと認められる。尤も全隅肉長に対する側面隅肉長の割合の相異によつて結果を異にするものと考えられる。

V 結 言

本実験に関する考察の範囲において次のごとく結論することができる。先づ隅肉溶接基本継手について、

1. 継手の破壊荷重及び破壊荷重から隅肉に生ずる最大剪断応力は、 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。

2. 隅肉の破断は τ_{max} の生ずる断面において起る。すなわち破断面と主版面との角度は側面隅肉が 45° 、前面隅肉が $22^\circ 30'$ で一定だが、斜方隅肉はこの場合 $30^\circ 48'$ であつて隅肉の長さによつて少しく異なるにいたる。

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、弾性限荷重から隅肉に生ずる τ_{max} 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. 継手の全歪、残留歪及び弾性歪は、各荷重状態を通じて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. 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、側面隅肉の剛性が最も弱い。

こうした性質を持つ各種の隅肉溶接を組合した実用的継手について、

側面隅肉と溝形側面隅肉を組合すと、継手の強さも継手としての剛さも最も弱くなる。側面隅肉と直線形前面隅肉を組合しても、半円形前面隅肉を組合しても継手の強さ及び歪は殆んど変らない。側面隅肉と 45° 斜方隅肉を組合す

と継手の強さが最も強くなり、弾性的剛さが大きいばかりでなく、静的破壊に対して著しき粘りを生ずるにいたる。

附語：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けた溶接鋼橋の研究の一部である。また御教示を忝うした京大小西博士、阪大渡辺博士試験片製作に対し御厚意に預つた東京横河橋梁芝浦工場及び中日本重工神戸造船所、以上の各位に対して深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) A. G. Solakian & G. E. Claussen, "Stress Distribution in Fillet Welds", The Welding Journal, May 1937, p. 1~24 岡田実訳、溶接協会誌 第7巻, 8, 9, 10号
- 2) 仲威雄, "溶接継手の実験", 建築雑誌 48 輯 596号, p. 101 昭和8. 4大会論文集
- 3) 仲威雄: "側面隅肉継目の應力", 溶接協会誌 4巻 4号, p. 345 昭和9. 8
- 4) 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 p. 283~292 昭和10. 4
- 5) 仲威雄, "斜方隅肉の強さについて", 建築学会大会論文集第1号, p. 45~53 昭和11. 3
- 6) 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 昭和13. 2
- 7) 著者, "隅肉溶接とリベットを併用した継手の弾性係数と協力係数について", 溶接学会誌 第19巻3号, p. 82 昭和25. 3
- 8) R. G. Olsson, "Ebene Spannungszustand der Schweissnaht", Bauingenieur 1932, S. 294~297
- 9) G. Bierett u. G. Grüning, "Spannungszustand und Festigkeit von Styrnkehltnahverbindungen", Stahlbau 1933, s. 169~173.
- 10) 岡田実, "溶接継手に関する研究", 溶接協会誌 第7巻10号 昭和12
- 11) J. H. Smith: "Stress Strain Characteristics of Welded Joints," Journal of Am. Welding Society, 1929 Vol. 8, Sept. p. 79~94.
- 12) Peterman, "Spannungsverteilung in einer Flankenschweissnaht," Stahlbau 1932, s. 92~94.
- 13) W. Troelsch, "Distribution of Shear in Welded Connections," Proc. A.S.C.E. 1932, Nov. p. 1499~1506,
- 14) A. Hertwig, "Die Spannung in Schweissnahten," Stahlbau, 1933 s. 161~163.
- 15) W. H. Weiskopf & Milton Male, "Stress Distribution in Side-Welded Joints," Welding Journal, 1930, No. 9.
- 16) 平井敦, 鋼橋第一巻頁133, 昭和25