片上の各測定点における残留應力を計算したものを Table 6 及び Fig. 6. に示す。

同様に溝型試片上の各点についての値を Table 7 及び Fig. 7. に示す。

§4. 実験結果についての考察

まづ矩形板試片についての結果を總合してみる。熔接方向に直角方向の應力は、おおむね板の左右両端部では圧縮、中央部では引張となつている。

また熔接方向に平行方向の應力は熔着部近傍で大きな引張、熔着部より隔つた区域においては圧縮となつている。

次に溝型試片についての結果を見るに、熔接方向に直角方向の應力は、溝部（熔着部）近傍で引張、溝部の外側では圧縮となつている。特に熔接終了端での引張應力値は可成り大きい。熔接線に平行方向の應力は熔接線附近が引張となり、熔接線から隔つた区域では圧縮となつている。

矩形板試片について得られた結果は第1報で述べた切断法による結果と大体同様である。

かような結果を、強靱鋼の熔接部に現われる割れの形態に結びつけて、考えれば両者の間に密接な関

係が存在することは、著者が関口教授とともに⁴⁾行つた割れに関する実験結果をみれば、明瞭である。

〔Ⅲ〕 結 言

本報ではX線を用いて熔接應力を測定した二例を示し、第1報と同様熔接割れの形態と熔接残留應力分布の関係を明らかにしようと企てた。

しかし今回は測定理論の吟味及び技術上の測定精度については、なんら検討を行わなかつた。従つて應力算定も近似式によつて行ふに止めた。さらに実験を進めているので、熔接条件の相異熔接前後の処理等により残留應力がいかに変化するか、また熔接残留應力が熔接部の機械的性質に及ぼす影響等についても、その測定理論あるいは測定精度の検討とともに稿を改めて発表したい。

本研究は関口春次郎教授の懇篤なる御指導によつて行つた。また実験遂行上、麻生直夫君の多大の御協力を得た。記して深厚なる謝意を表したい、また本研究は文部省科学研究費を仰いで行ひ得た。

4) 関口、小林、強靱鋼の熔接割れについて、第4報

54 隅肉熔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

櫻 井 季 男*

On the Modulus of Elasticity and Coefficient of Cooperation of Composite Joint of Rivet and Weld in Steel Structures.

By Sueo Sakurai*

Abstract

By the experiments on the butt joint with splice plates, connected by the rivet and fillet weld combined, the author measured the deformation arising from repeated tensile static load, and determined the residual and elastic strains of joint. From these results, the author calculated the apparent modulus of elasticity of the composite joint, and the "coefficient of cooperation" in rivet & weld respectively, at proof and ultimate loads.

Besides, the effect of order of execution of riveting & welding upon those results was investigated by the author.

要 旨

リベットと隅肉熔接とを併用した突合せ継手について、静荷重による実験的考察を行い、併用継手としての弾性係数、並びに耐力及び極限荷重におけるリベットと熔接との協力状況について研究したもの

である。なほリベットと熔接との施工の順序による影響について考察した。

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

I 序

リベット継手の変形は溶接継手の変形よりも著しく大きい。かゝる変形の異なる2種類の継手を併用した継手の変形並びにリベットの強さと溶接の強さとの協力状況については、鋼構造物の設計上重要な課題である。

早大内藤⁽¹⁾、鶴田両博士の報告は、併用継手の極限強さについてののみ考察している。極限強さにおけるリベットと溶接との協力状況についての考察は、併用継手の強さに関する安全率を支配するに過ぎないさらに併用継手としての弾性限並びに降伏点における性質について、研究する必要がある。

著者は表題継手の試験片を製作して、繰返引張静荷重をかけて、継手の残留変形と弾性変形とを測定し、その実験結果から、併用継手の性質について、継手としての弾性係数並びに耐力におけるリベットと溶接との協力状況について研究した。

図-1 基本継手試験片構造図

II 試験片の種類、設計及び製作

a) 種類

基本継手試験片として、リベット継手(R-J)、側面隅肉溶接継手(WL-J)及び前面隅肉溶接継手(WF-J)の試験片を各々3箇所ずつ製作した。

併用継手試験片としては、前記基本継手を組合せ併用したものである。施工の順序によつて継手の性状を異にすると想像して、先に溶接してから後にリベットをかしめたものをRW-, 先にリベットをかしめてから後に溶接したものをWR-の記号を冠して表わし、6種類の継手を各々3箇所ずつ製作した。

b) 設計

試験片の設計は実用的価値と計測器の取付けを考慮して行つた。その構造は図-1及び図-2に示す。両面に添接板を用いた突合せ継手とし、主板及び添接板の断面積を等しくした。

リベットは直径19mm 孔径20.5mmに仕上げ、

図-2 併用継手試験片構造図

① 内藤多中 鶴田明：リベットと溶接を併用した継手の強さに関する研究，昭和15年

造船用丸リベットを用いた。

熔接は脚長 $10 \times 10\text{mm}$ の電弧隅肉熔接とし有効長は側面隅肉 23mm 前面隅肉 46mm となるように削成した。隅肉は継手の両側表裏に対して対称的に配列した。

リベットの剪断面積 6.6cm^2 に対し、隅肉熔接の喉厚断面積は前面及び側面ともに各 6.5cm^2 でほぼ等しい。リベットの強さは支圧よりも剪断に支配されるので、縁距を 30mm とした。いずれも熔接またはリベットで破壊するように設計した。

c) 製作

本試験片は神戸市川崎艦船工場に依頼して製作した。

1. 熔接棒：神戸製鋼 B17.4 mm ϕ ，熔着金属の引張強さ 50.8kg/mm^2 ，伸率 31.4% (標点距離 35mm) 衝撃 (アイゾット) 3.3kg.m ，芯線化学成分， $\text{-C } 0.5$ $\text{Si } 0.02$ $\text{Mn } 0.29$ $\text{P } 0.012$ $\text{S } 0.024$

2. 熔接機：日立製作所製交流電弧熔接機 $200 \pm 20\text{V}$ 24kVA

3. 電流及び電圧(二次側)：電流 $120 \sim 140\text{A}$ 電圧 25V

4. 熔接肉盛法：4 層盛

5. 熔接施工の順序並びに仕上げ：表面において1層のビードをすべて終了後2層のビードを施し、さらに3及び4層のビードを順次に施工した。表面の熔接が終つてから裏面の熔接を同様な順序で施工した。熔接は手仕上げにて、できるだけ正確に脚長 $10 \times 10\text{mm}$ 長さ 23mm 及び 46mm のプリズム形になるように餘盛を削り取つた。

6. リベットかしめ作業：リベットの孔はドリルによつて正確にあけた。リベット焼きはコークスによる。気圧 6kg/cm^2 のテフポーでかしめた。

III 実験及びその結果

本実験は京都大学において、工学研究所備付の Olsen100t 試験機を用いて行つた。実験方法は Marten's Extensometer を試験片の鋼の両側に継手に対称となるように取付け、標点距離 200mm における伸長歪を計測した。尺度の読み 1mm は歪 $1/500\text{mm}$ の倍率を表わすように据え付けて測定し左右の読みの平均を求めた。荷重は $1 \sim 5\text{t}$ 刻みに増加して加え、零に返す代りに毎回 0.5t まで返した繰返静荷重をかけた。歪が相当量になつてから、計測

器を取り除いて、荷重を繰返すことなく、連続的に増加して、極限強さを決定した。いずれも熔接が破壊した。

計測結果は荷重 0.5t 時の歪を基準としたものであるが、荷重 0t を基準とするように換算整理することができる。しかれば荷重 P_t をかけた時の伸長の全歪を Δl_t とし、 P_t から 0t まで荷重を返した時の歪を Δl_r とすれば、 Δl_r は荷重 P_t に対する残留歪を表

図-3 基本継手の各歪荷重線図

図-4 併用継手 WRL-J 及 RWL-J の歪荷重線比較図

図-5 併用継手 WRF-J 及び RWF-J の歪荷重線比較図

図-6 併用継手 WRLF-J 及 RWL-J の歪荷重線比較図

わすことになり、 $\Delta l_t - \Delta l_r = \Delta l_e$ が荷重 P_e に対する弾性歪を表わすことになる。

9種類27個の継手試験片に対する計測結果から Ol が基準となるように換算して、さらに全歪を残留歪と弾性歪とに分離して、整理し、各継手3箇所の平均値を求めて、継手の各歪荷重線図を画けば図-3, 4, 5及び6のごとくなる。

Ⅳ 実験結果に対する考察

次の2項に分ちて考察する。

a) 継手としての弾性係数について

図3, 4, 5及び6における各種継手の Δl_e 線には直線部がないので、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。しからば弾性限荷重が定り、極限荷重とともに表示すれば表1のごとくなる。

弾性限荷重に対する弾性歪の計測値から、應力分布を均等と假定して、継手としての見掛け弾性係数 E を算定すれば、表1のごとくなる。

表-1 継手の弾性限荷重並に継手としての弾性係数 E の表

継手の種類	継手の記号	極限荷重 P_{uton}	弾性限荷重 P_{eton}	$P_e \times 100 / F_u$ %	弾性限荷重に計測した弾性係数 E_t mm/cm ²	継手の数と弾性係数の平均値 $\bar{E}$ cm ²	最大編差 %
基本継手	R-J	25.95	5.36	20.7	50.7	940	+ 6.3 - 9.5
	WL-J	28.54	14.52	50.9	108.0	1180	+ 1.6 - 1.6
	WF-J	35.94	16.85	46.9	154.5	960	+ 2.1 - 2.1
併用継手	WRL-J	44.78	15.15	33.8	102.3	1320	+ 1.5 - 1.5
	RWL-J	45.28	16.40	36.2	90.7	1530	+ 8.4 - 5.2
	WRF-J	49.59	16.50	33.3	133.3	850	-14.1 +10.5
	RWF-J	49.48	18.57	38.5	121.8	1020	+ 2.9 - 1.9
	WRLF-J	70.57	24.81	35.2	114.2	1460	+ 2.0 - 2.7
	RWLF-J	70.10	30.84	44.0	137.8	1510	+ 2.6 - 2.6

継手としての見掛け弾性係数 E は、特定の継手に対する弾性係数であつて、継手の構造形状及び計測方法によつて異なるものである。従つて側面溶接と前面溶接を比較しても、また基本継手と併用継手を比較しても意味が少い。しかし同種類の WR-と RW-とは形状、構造及び計測方法が同じであるから、有意義な比較が可能である。両者の間には明らかな差異を生じた。すなわち WRL-J の $\bar{E}$ は RWL-J の 86%, WRF-J の E は RWF-J の 83%, WRLF-J の E は RWLF-J の 97% である。弾性限内では RW-の方が WR-よりも、継手として剛いことになる。

b) 耐力及極限強さにおける協力係数について

應力歪線がはじめから曲線をなし、直線部のない材料に対して、わが國商工省規格では 0.2% の永久歪を興える應力を降伏点と定めている。この 0.2% の永久歪を興える應力を耐力と称している。

上述の考えから本継手に対して実測に基く歪荷重線から 0.1~0.2% の残留歪を興えるものを継手の耐力と假定した。継手としての降伏点に当るものである。

図-3, 4, 5 及び 6 における Δl_r 線から耐力を決定することができる。しからば併用継手の耐力状態において、リベットと溶接との受持つ力を次のごとく分離することができる。

P = 併用継手の耐力 ton

P_u = 併用継手の極限強さ ton

P_r = 耐力状態においてリベットの受持つ力 ton

P_{wl} = 耐力状態において側面隅肉溶接の受持つ力 ton

P_{wf} = 耐力状態において前面隅肉溶接の受持つ力 ton

ϵ_r = リベットの滑り変形 = $f(P_r)$ cm

ϵ_{wl} = 側面隅肉溶接の滑り変形 = $f(P_{wl})$ cm

ϵ_{wf} = 前面隅肉溶接の滑り変形 = $f(P_{wf})$ cm

A_0 = 主鋼の断面積 cm²

A_s = 添接鋼の断面積 cm²

E = ヤング係数 = 2100t/cm² とすれば

(イ) WRL-J 及び RWL-J において

$$P = P_r + P_{wl} \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{wl} \dots\dots\dots (2)$$

(ロ) WRF-J 及び RWF-J において

$$P = P_r + P_{wf} \dots\dots\dots (3)$$

$$\varepsilon_r + P_r \times 2 \times 5 / A_0 E = \varepsilon_{wl} + P_{wl} \times 2 \times 5 / A_s E \cdots (4)$$

(ハ) WRLF-J 及び RWLF-J において

$$P = P_r + P_{wl} + P_{wf} \cdots (5)$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{wl} \cdots (6)$$

$$\varepsilon_{wl} + P_{wl} \times 2 \times 5 / A_s E = \varepsilon_{wf} + (P_r + P_{wl}) \times 2 \times 5 / A_0 E \cdots (7)$$

以上の諸式から各継手に対する P_r , P_{wl} 及び P_{wf} を算定し得る。もつとも ε_r , ε_{wl} 及び ε_{wf} は基本継手の実測結果から求め得る。すなわち各基本継手の全歪から $E = 2100t/cm^2$ として算定した弾性変形を差引いたものを滑り変形と假定した。基本継手についてリベット及び隅肉溶接の純な滑りを測定すれば、正しい滑り変形を求め得るはずであるが、前記の処理では滑り変形の中に應力の分布状況及び計測方法による影響を含んでいる。残留歪0.1%及び0.2%の耐力状況における諸値を算定して表示すれば表2のごとくなる。

表-2 併用継手の耐力状態における諸値表

継手の種類	Δl_r %	P ton	P_r ton	P_{wl} ton	P_{wf} ton	P_u ton
WRL-J	0.1	25.57	7.07	18.50	—	44.78
	0.2	31.95	10.02	21.93	—	
RWL-J	0.1	27.68	7.79	19.89	—	45.28
	0.2	32.87	10.59	22.28	—	
WRF-J	0.1	30.52	8.72	—	21.79	49.59
	0.2	36.35	10.90	—	25.45	
RWF-J	0.1	30.52	8.72	—	22.44	49.48
	0.2	36.35	10.90	—	24.53	
WRLF-J	0.1	50.37	8.10	20.04	22.04	70.57
	0.2	56.28	9.73	24.83	24.83	
RWLF-J	0.1	50.05	7.95	21.92	21.92	70.10
	0.2	55.47	9.40	24.51	24.51	

併用継手において、リベット及び溶接の受持つ力の、基本継手の各対応値に対する比率を協力係数と名付けて、次のごとく算定し得る。

P = 併用継手の耐力 ton

P_{rp} = 基本継手 R-J の耐力 = 10.58t (0.1%), 15.17t (0.2%)

P_{wlp} = 基本継手 WL-J の耐力 = 22.37t (0.1%), 24.08t (0.2%)

P_{wfp} = 基本継手 WF-J の耐力 = 26.55t (0.1%), 29.68t (0.2%)

K_{rp} = 耐力状態におけるリベットの協力係数

K_{wlp} = 耐力状態における側面隅肉溶接の協力係数

K_{wfp} = 耐力状態における前面隅肉溶接の協力係数

数

K_p = 耐力状態における総合協力係数

P_u = 併用継手の極限強さ ton

P_{ru} = 基本継手 R-J の極限強さ = 25.95t

P_{wlu} = 基本継手 WL-J の極限強さ = 28.54t

P_{wfu} = 基本継手 WF-J の極限強さ = 35.94t

K_{ru} = 極限状態におけるリベットの協力係数

K_{wlu} = 極限状態における側面隅肉溶接の協力係数

K_{wfu} = 極限状態における前面隅肉溶接の協力係数

K_u = 極限状態における総合協力係数 とすれば

(イ) WRL-J 及び RWL-J において

$$P = P_r + P_{wl} = K_{rp} \cdot P_{rp} + K_{wlp} \cdot P_{wlp} = K_p (P_{rp} + P_{wlp}) \cdots (8)$$

$$P_u = K_{ru} \cdot P_{ru} + K_{ulu} \cdot P_{ulu} = K_u (P_{ru} + P_{ulu}) \cdots (9)$$

(ロ) WRF-J 及び RWF-J において

$$P = P_r + P_{wf} = K_{rp} \cdot P_{rp} + K_{wfp} \cdot P_{wfp} = K_p (P_{rp} + P_{wfp}) \cdots (10)$$

$$P_u = K_{ru} \cdot P_{ru} + K_{ufu} \cdot P_{ufu} = K_u (P_{ru} + P_{ufu}) \cdots (11)$$

(ハ) WRLF-J 及び RWLF-J において

$$P = P_r + P_{wl} + P_{wf} = K_{rp} \cdot P_{rp} + K_{wlp} \cdot P_{wlp} + K_{wfp} \cdot P_{wfp} = K_p (P_{rp} + P_{wlp} + P_{wfp}) \cdots (12)$$

$$P_u = K_u (P_{ru} + P_{ulu} + P_{ufu}) \cdots (13)$$

以上の諸式から、残留歪が0.1%及び0.2%の耐力状態並びに極限状態における各協力係数を算定して図示すれば、図-7, 8及び9のごとくなる。WRL-J

図-7 RWL-J及びWRL-Jの協力係数

図-8 RWF-J 及び WRF-Jの協力係数

図-9 RWLF-J 及び WRLF-Jの協力係数

及び RWL-J において側面隅肉の破壊が、その他の併用継手において前面隅肉の破壊が、継手の極限強さを決定したから、これらの溶接の極限状態における協力係数を1.00と定めた。

図-7について考察すれば、RWL-Jの各協力係数は WRL-J のそれよりも、耐力状態0.1%では7～10%、0.2%では4～6%、極限状態では0～3%だけ高い。荷重が増加するに伴って、リベットの協力係数は減少し、側面溶接の協力係数は増加する。総合協力係数は荷重状況によつてほとんど変わらない。

図-8について考察すれば、RWF-Jの各協力係数は WRF-J に比べて、耐力状態0.1%では4%高く、耐力状態0.2%では逆に4～7%低く、極限状態では

はほとんど等しい。すなわち耐力状態0.1%と0.2%において、RWF-JとWRF-Jとの各協力係数の相対的高低が相反する。なお偶然に耐力状態0.1%では各協力係数は各継手について全く等しい。荷重が増加するに伴って、リベットの協力係数は減少し、前面隅肉の協力係数は増加し、総合協力係数はほとんど変わらない。

図-9について考察すれば RWLF-J の各協力係数は、WRLF-J に比べて、いずれも約2～3%高い。荷重が増加するに伴って、リベット及び総合の協力係数については、前者は著しく後者は僅かに減少し、溶接の協力係数は僅かに増加する。

以上3種類の併用継手について、その種類 RW-及び WR-並びに耐力状態0.1%及び0.2%の4つの場合の協力係数の平均値を求めて、併用継手の耐力状態における実用的協力係数と假定する。これを極限状態における平均協力係数とともに表示すれば表3のごとくなる。

表-3 協力係数の平均値

継手の種類		WRL-J		WRF-J		RWLF-J	
協力係数		RWL-J		RWF-J		RWLF-J	
リベット	K_{rp}	0.74	0.66	0.85	0.65	0.77	0.62
		0.69		0.77		0.70	
	K_{ru}	0.65	0.63	0.51	0.52	—	—
側面溶接	K_{wlp}	0.95	0.83	—	—	0.90	0.88
	K_{wlu}	0.90		—		0.89	
前面溶接	K_{wfp}	—		0.85	0.82	0.83	0.80
	K_{wfu}	—		0.84		0.82	
総合	K_p	0.84	0.78	0.85	0.77	0.84	0.79
	K_u	0.82	0.82	0.81	0.82	0.82	0.82
合	K_p	0.83	0.82	0.80	0.80	0.78	0.76
	K_u	0.83	0.83	0.80	0.80	0.78	0.77

備考 枠内の左上は最大値、右上は最小値、下中は平均値を示す。

V 結 言

以上の考察を要約して、本実験に関する範囲における結言とすれば次のごとくなる。

1. 併用継手としての弾性係数 $\bar{E}$ については、溶接を先に施工した継手の $\bar{E}$ の方が、リベットを先にかしめた継手よりも小さい。弾性限内では定性的に後者が前者よりも剛いと言える。両者の差異は、WRL-JはRWL-Jの86%、WRF-JはRWF-Jの83%、RWLF-JはRWLF-Jの97%である。

2. 併用継手の各協力係数については、概括的には、耐力状態0.1%, 0.2%及び極限状態の順に、荷重が増加するに伴つて、リベットの協力係数は減少し、溶接の協力係数は増加し、総合協力係数はほとんど変わらない。

3. 溶接とリベットの施工の順序による影響については、各荷重状態を通じて、各協力係数とも、溶接を先に施工した継手の方が、リベットを先にかしめた継手より低い。ただしリベットと前面隅肉溶接とを併用した継手の0.2%の荷重状態においてのみ、上述の相違が相反する。

4. 溶接とリベットの施工の順序、並びに耐力状態0.1%及び0.2%の4つの場合について平均したものを耐力状態における実用的協力係数と假定すれば、その最小値は次のごとくなる。すなわちリベット

の協力係数0.69 側面隅肉0.89 前面隅肉0.82, 総合協力係数0.81となる。

併用継手の設計は耐力状態における協力係数を用いて行うを合理的とする。

以上は静荷重に対する実験に基くものであつて、動的繰返荷重に対する疲労実験を行う必要がある。なおリベットと溶接の断面積の比率によつて結果が異なるはずであつて、本実験の種類の少かつたことを遺憾とする。

附言：本研究は兵庫縣土木部並に文部省科学研究費の援助によるものであり、京大小西教授、阪大渡辺助教授の御指導を忝うしたものであり、なお試験片の製作については神戸川崎艦船工場の御厚意に預つたもので、ここに謹んで深甚の謝意を表する。

會

報

第5回理事会決議録

日時 昭和24年9月13日(火) 午後2時20分～6時

場所 本会事務所

出席者 木原、三上、田村、奥村、鶴田各理事

報告事項

1. 前回理事会決議録再確認の件
2. 講演会開催の件
3. 会計状況報告の件
4. 定款変更認可の件
5. 昭和25年度科学研究費科学試験研究費に関する研究題目の件

協議事項

1. 工業技術研究発表会講演者推薦の件
2. 学会英語名変更の件
3. 理事会開催日決定の件
4. 昭和25年度文部省科学試験研究要望課題候補調書提出の件
5. 入会、退会、等級変更に関する承認の件

第6回理事会決議録

日時 昭和24年10月11日(火) 午後3時～4時30分

場所 本会事務所

出席者 仲副会長、木原、手塚、田村各理事、柴田監事

報告事項

1. 前回理事会決議録再確認の件
2. 昭和25年度文部省科学試験研究要望課題候補調書提出の件

3. 研究委員会改組の件

4. 講演会の件

5. 会計状況報告の件

6. 日本学術会議第5部会員と工学関係代表者との第2懇談会報告の件

協議事項

1. 入退会承認の件
2. The Japan Science Review 掲載論文推薦の件
3. 汽罐協会共催の汽罐溶接士講習会講師出張旅費の件

第7回理事会決議録

日時 昭和24年11月8日 午後1時30分～2時30分

場所 本会事務所

出席者 仲副会長、木原、手塚、加藤、田村各理事

報告事項

1. 前回理事会決議録再確認の件
2. 研究委員会改組の件
3. 講演会の件
4. 会計状況報告の件

協議事項

1. 講習会講師出張費の件
2. 学会誌発行の件
3. 科学試験研究費の件
4. 評議員改選の件
5. 入退会承認の件