

UDC 624.078
620.178.322.1 : 621.791.056.122

リベットと隅肉溶接を併用した継手の実験的研究*

正 員 櫻 井 季 男**

EXPERIMENTAL RESEARCHES ON THE COMPOSITE JOINT OF RIVET AND FILLET WELD

Sueo Sakurai, C.E., Member

Synopsis 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 and weld respectively, at proof and ultimate loads.

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

要 旨 リベットと隅肉溶接とを併用した突合せ継手試験片について、繰返引張静荷重によつて生ずる残留及び弾性歪みを測定し、その実験結果から、主に併用継手としての見掛け弾性係数、並びに耐力及び極限強さにおけるリベットと溶接との協力係数について研究したものである。なおリベットと溶接との施工の順序が併用継手の性状に及ぼす影響について考察した。

I 序

リベット構造物の補強及び改築の際には、リベット継手に溶接を併用して効果をあげることがある。しかるにリベット継手の変形は、溶接継手のそれよりも著しく大きい。こうした変形の異なる2種類の継手を併用した継手の変形、強さ並びにリベットと溶接との協力状況は、鋼構造物の設計上特に考慮すべき問題である。

こうした併用継手に関する内藤・鶴田両博士¹⁾及びBryla²⁾の報告は、いづれも併用継手の極限強さのみについて考察しているにすぎない。単に極限強さにおけるリベットと溶接との協力状況の考察は、併用継手の強さに関する安全率を支配するにすぎないから、更に併用継手としての弾性限及び降伏点における性質、並びにリベットと溶接との施工の順序が継手の性状に及ぼす影響について研究する必要がある。

著者は併用継手の試験片に引張静荷重をかけて、継手の残留及び弾性変形を測定し、その実験結果から、併用継手の性状について、特に継手としての見掛け弾性係数並びに耐力及び極限状態におけるリベットと溶接との協力状況について考察したものである。

II 継手の弾性限と耐力

炭素鋼の引張に対する応力歪線は明瞭で、弾性限及び降伏点が一定する。しかしジュラルミンの応力歪線は、はじめから曲線で直線部がない。こうした場合でも、弾性限及び降伏点を想像することが便利である。1906年にBrusselで開かれた万国材料試験協会では0.001%の永久歪みを、又伯林の材料試験所では0.003%の永久歪みを弾性限としている。我国標準規格では弾性限の永久歪みを定めていないが、0.2%の永久歪みを与える応力を降伏点としている。この降伏点にあたる応力を保証応力または耐力と称する。

上述の弾性限は計測器の精度及び計測方法によつて変化する。精度が増せば弾性限は下る。

鋼材継手の荷重歪線は、はじめから曲線で直線部がないから、ジュラルミンの歪みに対する考え方を、継手の

* リベットと隅肉溶接とを併用した継手の1実験(第1報)昭和24.7.20, 土木学会関西支部講演会; 同じく(第2報)昭和24.10.16, 関西工学連合講演会における講演内容に其の後の研究を合せ取りまとめた。

** 神戸大学教授, 工学部土木工学科教室

1) 内藤多伸・鶴田明; リベットと溶接とを併用した継手の強さに関する研究, 昭和15年

2) Stefan Bryla: Tests on riveted joints strengthened by welding. Publications of International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 1, 1982.

変形に対して拡張して考察する。

実測にもとづく荷重歪線から、0.01% の残留歪みを与えるものを継手の弾性限、0.1~0.2% の残留歪みを与えるものを継手の耐力と仮定した。

III 試験片の種類、設計及び製作

a) 試験片の種類

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)のものを各3箇ずつ製作した。

併用継手試験片としては、上記の基本継手を組合せ併用した。この場合施工の順序が継手の性状に影響することを考え、溶接後にリベットしたもの(WR-)、リベットをかしめた後に溶接したもの(RW-)の記号を冠して表わした。前面側面隅肉のみ併用のもの(WLF-J)を含めて、7種類の継手を各3箇ずつ製作した。

b) 試験片の設計

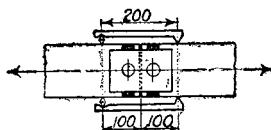
実用的価値と計測器の取付けを考慮して設計した。その構造は図-1及び図-2に示す。両面に添接板を用いた突合せ継手とし、主板と添接板との断面積を等しくした。リベットは直徑 19 mm, 孔径 20.5 mm に仕上げ、造船用の丸リベットを用いた。溶接は脚長 10×10 mm の電弧隅肉溶接とし、有効長は側面隅肉 23 mm、前面隅肉 46 mm となるように削成し、継手の両側表裏に対し対称的に配列した。リベットの剪断面積 6.6 cm²に対し、隅肉溶接の喉厚断面積は前面、側面とも各々 6.5 cm²で殆ど相等しい。リベットの強さは支圧よりも剪断に支配されるので、縁距を 30 mm とし、いざれも溶接又はリベットで破壊するように設計した。

c) 試験片の製作

本試験片は神戸の川崎造船工場に依頼して製作した。使用溶接棒は神戸製鋼の B 17, φ4 mm とし、溶着金属の引張強さ 50.8 kg/mm²、伸率 31.4% (標点距離 35 mm)、衝撃 (アイソット) 3.3 kg·m、芯線の化学成分は C 0.15, Si 0.02, Mn 0.29, P 0.012, S 0.024, である。使用溶接機は日立製作所交流電弧溶接機 200±20 V, 24 KVA で電流は 120~140 A, 2 次側電圧は 25 V とした。溶接肉盛は 4 層盛で、表面で 1 層のビードをすべて終つてから 2 層のビードを施し、更に 3, 4 層のビードを順次に施工した。表面の溶接が終つてから、裏面の溶接を同様な順序で施工した。溶接は手仕上げで、できるだけ正確に脚長 10×10 mm, 長さ 23 mm 及び 46 mm のブリズム型になるように余盛を削り取つた。一方リベット孔はドリルで正確にあけ、リベット焼はコーカスによることとし、気圧 6 kg/cm² のテッポーでかしめた。

IV 実験とその結果

図-3 計測器取付図



本実験は京大工学研究所備付の Olsen 100 t 試験機 (short ton) によつたが、変形は Marten's Extensometer を試験片の板の両側に継手に対称となるように取付け (図-3), 標点距離 200 mm における伸長歪を倍率 500 で計測し、左右の読みの平均を求めた。荷重は 1~5 t 刻みに増加して加え、毎回 0.5 t まで返して繰返静荷重をかけた。歪みが相当量になつてから、計測器をはずし、荷重を繰返さずに連続的に増加し、極限強さを定めたが、いざれの試験片も併用継手では隅肉溶接部が破壊した。

計測結果は荷重 0.5 t 時の歪みを基準としたものであるが、荷重 0 t を基準とするように換算整理することができる。しかば荷重 P_t をかけた時の全歪を ΔL_t , P_t から 0 t まで荷重を返した時の歪みを ΔL_r とすれば、 ΔL_r 及び $\Delta L_t - \Delta L_r = \Delta L_e$ はそれぞれ荷重 P_t に対する残留歪み及び弾性歪みを表わすことになる。

図-4~8 は 10 種類 30 箇の継手試験片に対する計測結果から、上記の方法で整理し、各継手 3 箇ずつの平均

図-1 基本継手試験片構造図

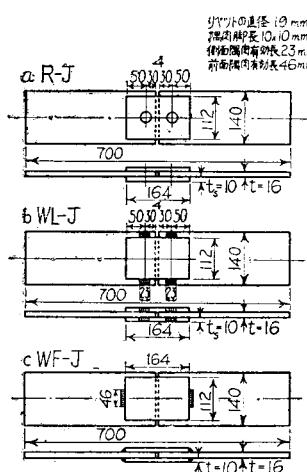


図-2 併用継手試験片構造図

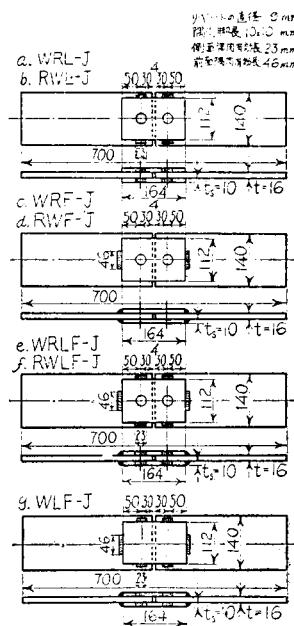


図-4 基本継手の荷重歪線図

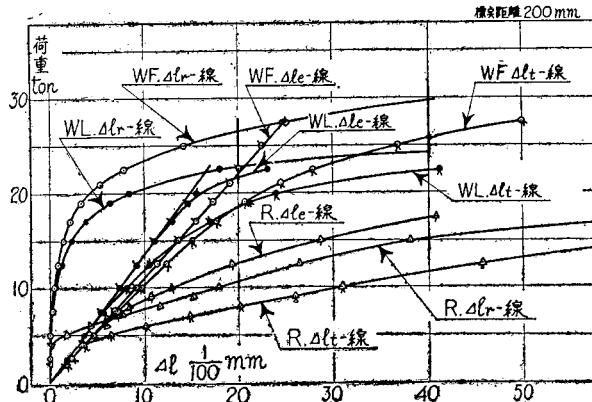


図-5 併用継手 WRL-J 及び RWL-J の荷重歪線比較図

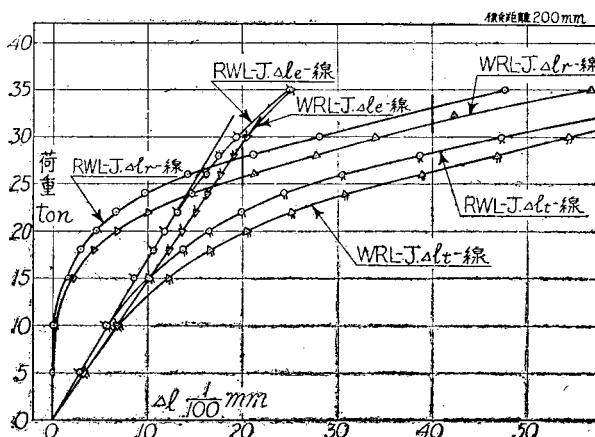
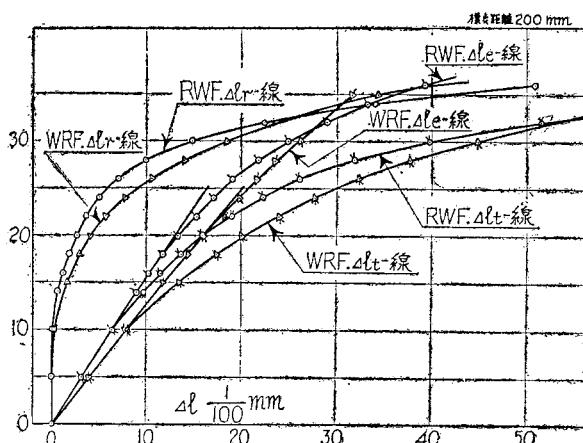


図-6 併用継手 WRF-J 及び RWF-J の荷重歪線比較図



値を求めて画いた荷重歪線図である。なお各継手の極限荷重の実測値の平均したものは表-1に併記した。

V 実験結果に対する考察

実験結果から継手の性状について、つぎの2項に分つて考察する。

a) 継手としての弾性係数について

前述の通り図-4~8に示す各種継手の残留歪みが0.01%に達する荷重を継手としての弾性限と仮定するのが妥当である。こうして定めた弾性限荷重を表-1に示した。この弾性限荷重に対する弾性歪みの計測値から、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に書き添えた通りである。

上表中の \bar{E} の値は、それぞれ特定の継手に対する見掛け弾性係数であつて、継手の構造、形状及び計測方法などで異なるはずであるから、側面隅肉と前面隅肉とを比較してもまた基本継手と併用継手とを比較しても意味がない。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つて、その両者の間には明らかな差異を生じた。その結果は WRL-J の \bar{E} は RWL-J の 86%, WRF-J の \bar{E} は RWF-J の 84%, WRLF-J は RWLF-J の 97% となっている。従つて併用継手では、溶接よりリベット鍛めをさきに行つた方が、その逆にしたものに比べて、弾性限内では継手として剛いことがわかる。

b) 耐力及び極限強さにおける協力係数について

IIで述べた様に継手の残留歪みが0.1~0.2%に達する時の荷重を、継手の耐力と仮定した。継手としての降伏点にあたるものである。本実験ではこうした考えに基づき、図-4~8の Δl_r 線からそれぞれの耐力を決定した。しかば併用継手の耐力状態において、次の様にリベットと溶接との受持つ力を分離することができる。今

P, P_u : それぞれ併用継手の耐力、極限強さ (t)

P_r, P_{wl}, P_{wf} : 耐力状態でそれぞれリベット、側面隅肉溶接、前面隅肉溶接の受持つ力 (t)

$\varepsilon_r, \varepsilon_{wl}, \varepsilon_{wf}$: それぞれリベット、側面隅肉溶接、前面隅肉溶接の変形にして、そ

図-7 併用継手 WRLF-J 及び RWLF-J の荷重歪線比較図

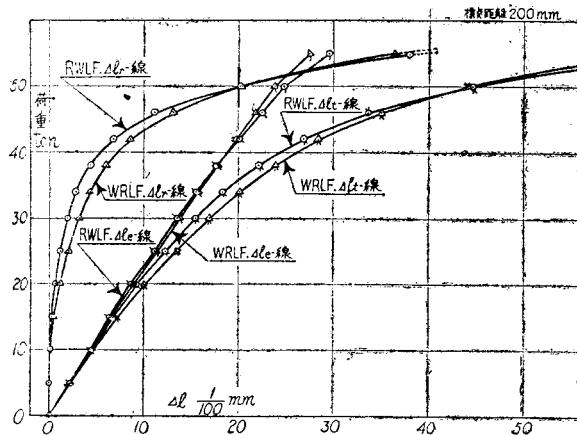
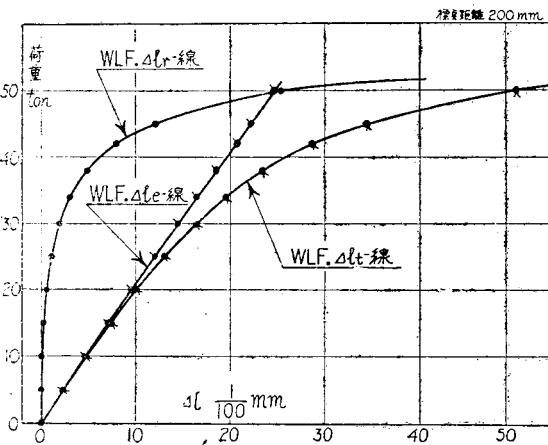


図-8 リベットのない WLF-J の荷重歪線図



全歪みから、 $E=2100 \text{ t/cm}^2$ として算定した弾性変形を差引いたものを用いた。基本継手でリベット及び隅肉溶接部の純な滑りを測定すれば、正しい滑り変形がわかるはずであるが、上記の処置では滑り変形と考えた量の中に主板及び添接板の弾性変形が含まれることになり、応力の分布状況及び計測方法による影響を受けるので、厳密とはいえない。しかし上記の各変形条件式の近似性を考え合せて上記の取扱いを採用し、残留歪みが 0.1% 及び 0.2% なる耐力状態における諸値を算定して表示すれば表-2のごとくになる。

併用継手におけるリベット及び溶接の受持つ力と基本継手の各対応値との比を協力係数 K と名付け、添字 rp , wlp , wfp , p を附したものとそれを耐力状態におけるリベット、側面隅肉溶接、前面隅肉溶接及び総合の協力係

表-1 継手の極限荷重、弾性限荷重並びに弾性係数

継手種類	基本継手	併用継手
継手記号	R-J WL-J WF-J WRL-J RWF-J WLF-J RWLF-J	R-J WL-J WF-J WRL-J RWF-J WLF-J RWLF-J
極限荷重 P_u (t)	25.95 28.54 35.94 44.78 45.24 49.59 49.68 70.57 70.10 61.05	5.36 14.52 16.85 15.15 16.44 16.50 18.57 20.81 20.81 30.05
$\frac{P_e}{P_u} \times 100$ (%)	20.7 52.9 44.9 33.8 36.2 33.3 38.5 35.2 44.9 50.5	
偏心距離 a (mm)	50.7 100.0 154.5 102.3 76.7 139.3 121.8 114.2 137.0 144.7	
偏心率 e/a (%)	8.60 10.70 8.70 12.00 13.90 7.70 9.23 13.30 13.70 12.60	
最大偏心率 (%)	+6.2 +7.7 +2.0 +1.0 +0.3 +8.9 +2.0 +1.9 +2.5 +2.7	-10.2 -3.5 -2.5 -1.4 -5.2 -4.2 -1.2 -3.3 -2.2 -4.4

れぞれ P_r , P_{wl} , P_{wf} の函数とする(cm)
 A_o , A_s : それぞれ主板、添接板の断面積
 (cm^2)

$$E=2100 \text{ t/cm}^2: ヤング係数$$

とすれば、継手における力の釣合条件式及び変形の近似条件式は次のようになる。

1. WRL-J 及び RWL-J において

$$\left. \begin{aligned} P &= P_r + P_{wl} \\ \varepsilon_r &= \varepsilon_{wl} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

2. WRG-J 及び RWF-J において

$$\left. \begin{aligned} P &= P_r + P_{wf} \\ \varepsilon_r + \frac{P_r \times 2 \times 5}{A_o E} &= \varepsilon_{wf} + \frac{P_{wf} \times 2 \times 5}{A_s E} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

3. WRLF-J 及び RWLF-J において

$$\left. \begin{aligned} P &= P_r + P_{wl} + P_{wf} \\ \varepsilon_r &= \varepsilon_{wl} \\ \varepsilon_{wf} + \frac{P_{wf} \times 2 \times 5}{A_s E} &= \varepsilon_{wl} \\ + \frac{(P_r + P_{wl}) \times 2 \times 5}{A_o E} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

4. WLF-J において

$$\left. \begin{aligned} P &= P_{wl} + P_{wf} \\ \varepsilon_{wf} + \frac{P_{wf} \times 2 \times 5}{A_s E} &= \varepsilon_{wl} + \frac{P_{wl} \times 2 \times 5}{A_o E} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

以上の諸式から各継手に対する P_r , P_{wl} 及び P_{wf} を近似的に算定しうるが、この場合 ε_r , ε_{wl} 及び ε_{wf} には各基本継手の実測

数とし、添字最後の p を u にかえたものを極限状態におけるそれぞれの協力係数とし、別に添字 $rwlu$ を附したものを 3 種併用継手の極限状態におけるリベットと側面隅肉溶接との総合協力係数とすると、これらは次のごとく計算される。ここに、 P_{rp} , P_{wlp} , P_{wfp} はそれぞれ基本継手 R-J, WL-J, WF-J の耐力、 P_{ru} , P_{wlu} , P_{wfu} はそれぞれの基本継手の極限強さを表す。基本継手の耐力、極限強さとともにリベットの剪断応力及び溶接の喉厚断面応力の実験結果は表-3の通りである。

1. WRL-J 及び RWL-J について、

$$\begin{aligned} P &= P_r + P_{wl} = K_p(P_{rp} + P_{wlp}) = K_{rp}P_{rp} + K_{wlp}P_{wlp} \\ P_u &= K_u(P_{ru} + P_{wlu}) = K_{ru}P_{ru} + K_{wlu}P_{wlu} \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (5)$$

2. WRF-J 及び RWF-J について,

$$\begin{aligned} P &= P_r + P_{wf} = K_p(P_{rp} + P_{wfp}) \\ &= K_{rp}P_{rp} + K_{wfp}P_{wfp} \\ P_u &= K_u(P_{ru} + P_{wfu}) = K_{ru}P_{ru} + K_{wfu}P_{wfu} \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (6)$$

3. WRLF-J 及び RWLF-J について,

$$\begin{aligned} P &= P_r + P_{wl} + P_{wf} = K_p(P_{rp} + P_{wlp} + P_{wfp}) \\ &= K_{rp}P_{rp} + K_{wlp}P_{wlp} + K_{wfp}P_{wfp} \\ P_u &= K_u(P_{ru} + P_{wlu} + P_{wfu}) = K_{ru}P_{ru} + K_{wlu}P_{wlu} + K_{wfu}P_{wfu} \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (7)$$

4. WLF-J について,

$$\begin{aligned} P &= P_{wl} + P_{wf} = K_p(P_{wlp} + P_{wfp}) = K_{wlp}P_{wlp} + K_{wfp}P_{wfp} \\ P_u &= K_u(P_{wlu} + P_{wfu}) = K_{wlu}P_{wlu} + K_{wfu}P_{wfu} \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (8)$$

以上の諸式から表-2,3 の数値を用い、残留歪みが 0.1% 及び 0.2% なる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ると、図-9~12 のようになる。但し WRL-J 及び RWL-J では側面隅肉の破壊が、その他の併用継手では前面隅肉の破壊が、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 とした。

図-9 RWL-J 及び WRL-J の協力係数表示図

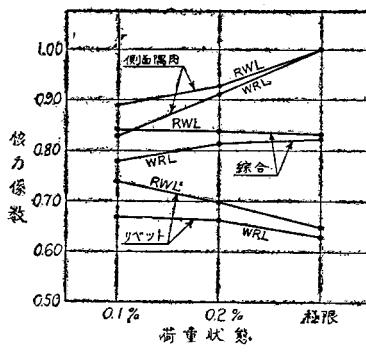


図-11 RWLF-J 及び WRLF-J の協力係数表示図

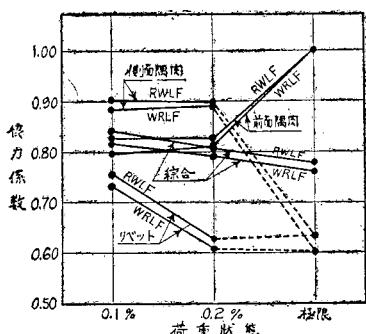


図-9を見ると、RWL-J の各協力係数は WRL-J に比べて、残留歪みが 0.1% の耐力状態では 8~9%，同

表-2 併用継手の耐力状態における数値表 (ton)

荷重状態 分担力 種類	$\Delta \epsilon_r : 0.1\%$			$\Delta \epsilon_r : 0.2\%$			極限 P_u		
	P	P_r	P_{wl}	P	P_r	P_{wl}			
WRL-J	2557	713	1844	-	3075	1003	2179	-	4270
RWL-J	2248	281	1867	-	3287	1060	2228	-	4526
WRF-J	3452	871	-	2181	3635	1100	-	2535	4557
RWF-J	3147	901	-	2246	3073	1030	-	2444	4745
WRLF-J	4050	771	1872	2186	5547	921	2140	2377	5263
RWLF-J	5005	777	2020	2186	5547	9.50	2141	2437	5010
WLF-J	4823	-	2248	2576	5167	-	2354	2600	6105

◎ 2個の平均値

表-3 基本継手の耐力、極限強さ及び応力

継手の種類	$\Delta \epsilon_r : 0.1\%$		$\Delta \epsilon_r : 0.2\%$		極限状態	
	耐力 ton	應力 %	耐力 ton	應力 %	極限強さ ton	應力 %
R-J	1058	14.5	1517	20.7	2775	35.7
WL-J	2237	32.1	2408	33.7	2854	41.4
WF-J	2655	37.7	2768	42.2	3574	51.1

図-10 RWF-J 及び WRF-J の協力係数表示図

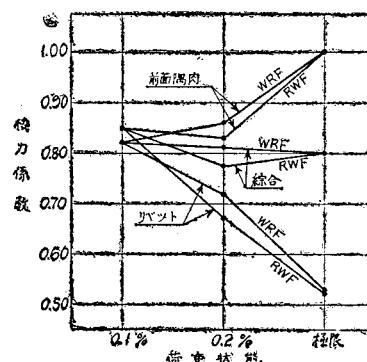
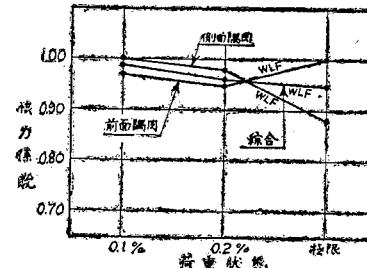


図-11 RWLF-J 及び WRLF-J の協力係数表示図



じく 0.2% では 2~6%，極限状態では 0~3% だけ高い。なお荷重の増加に伴つて， K_{rp} は減少し， K_{wlp} は増加するが， K_p は殆ど変らない。

図-10 を見ると，RWF-J の各協力係数は WRF-J に比べて，残留歪みが 0.1% の耐力状態では 3% 高く，同じく 0.2% では逆に 4~7% 低く，極限状態では殆ど等しい。なお 0.1% では， K_{rp} ， K_{wfp} ， K_p は各継手ともそれぞれ殆ど等しく，荷重の増加につれて K_{rp} は減少し， K_{wfp} は増加し， K_p は殆ど変つていない。

図-11 を見ると，RWLF-J の各協力係数は WRLF-J に比べて，いざれも 2~4% 高く，荷重が増加するに伴つて， K_{rp} は著しく K_p は僅かに減少するが， K_{wlp} 及び K_{wfp} は少し増加する。

図-12 を見ると， K_{wlp} は K_{wfp} に比べて 3% 高いが，極限状態では逆に 12% 低くなっている。また耐力状態では， K_{wlp} ， K_{wfp} ， K_p はいづれも荷重の増加につれて僅かに減少する。

以上の中前3者のリベット併用継手について，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，また WLF-J について，2 つの耐力状態におけるものの平均値を求めて，耐力状態における実用的協力係数と仮定し，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-4 の様になる。

VI 結 語

以上の考察を要約して，本実験の範囲における結語とすれば次のようである。

(1) 併用継手としての見掛け弾性係数は，溶接を先に施工してリベットを後にかしめた方が，その逆のものに比べて小さく，一般に弾性限度内では後者が前者より剛いことになる。

(2) 併用継手の各協力係数については，荷重が増加するにつれて，一般にリベットに対するものは減少し，溶接に対するものは増加するが，総合協力係数は殆ど変らない。

(3) 各荷重状態を通じ各協力係数とともに，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ものに比べて低くなっている。但しリベットと前面隅肉溶接を併用した継手の 0.2% の荷重状態においてのみ，上述の相違が逆になる。

(4) 実用的協力係数の最小値は，リベット 0.68，側面隅肉溶接 0.89，前面隅肉溶接 0.81，総合 0.81 である。耐力状態におけるこうした協力係数の値は，併用継手の合理的設計に好都合に用いられるはずである。

以上は静荷重に対する実験に基づくもので，動的繰返荷重に対する実験を行う必要がある。なおリベットと溶接との断面積の比によつても結果が異なるはずで，これらは今後の研究にまちたいと思う。

附言：本研究は兵庫県土木部並びに文部省科学研究所の援助により，京大小西教授，阪大渡辺助教授の御指導を忝うし，なお神戸川崎造船工場の御厚意に預つたものでここに深甚の謝意を表する。

表-4 協力係数の平均値表

協力係数	継手・種類		WLF-J	WRLF-J	WLF-J
	RWF-J	RWF-J			
リベット	K_{rp} [KUL] 0.66~0.74(0.69)	K_{rp} [KUL] 0.69~0.87(0.77)	K_{rp} [KUL] 0.67~0.85(0.69)	K_{rp} [KUL] 0.67~0.85(0.69)	—
側面隅肉	K_{wlp} [KUL] 0.82~0.93(0.87)	—	K_{wlp} [KUL] 0.82~0.93(0.87)	K_{wlp} [KUL] 0.82~0.93(0.87)	0.88
前面隅肉	K_{wfp} [KUL] —	K_{wfp} [KUL] —	K_{wfp} [KUL] 0.62~0.86(0.81)	K_{wfp} [KUL] 0.77~0.82(0.81)	0.75~0.79(0.81)
総 合	K_{rl} [KUL] 0.70~0.88(0.82)	K_{rl} [KUL] 0.77~0.85(0.81)	K_{rl} [KUL] 0.72~0.84(0.82)	K_{rl} [KUL] 0.74~0.86(0.82)	0.74~0.79(0.81)

上表中括弧内は平均値を示し、又は Kulu の値を示す

上表中括弧内は平均値を示し、又は Kulu の値を示す

上表中括弧内は平均値を示し、又は Kulu の値を示す