[資 料]

各種ファスナーの併用継手に関する実験的研究

(その 1)

併用継手小委員会

序

同一接合部に溶接と高力ボルト、あるいはリベットと高力ボルトなどを併用し応力を分担させることができるならば接合部設計が容易になり、構造物の新築、増改築工事で提起される現場接合の問題をより容易に解決できる場合が少くない。そのため従来も併用継手の設計法確立に対する要望が昂くこれに関する実験的研究が少なからず行なわれてきた。

しかし従来の併用継手に関する研究は必ずしも系統的な計画にしたがって行なわれてきたとはみなすことができず、それぞれ特定の条件に対して一応の傾向をうるに止まり、これら相互の定量的な関連づけひいては併用継手一般に対する理解には至っていない。

一方外国においては、たとえばアメリカの AISC ではすでに早くから溶接と高力ボルトの併用およびリベットと高力ボルトの併用規定を設けて、実用の便宜をはかっている。これらの併用接合については個々の接合の性質から理論上可能であると考えられ、またこれまで日本で行なわれた実験からも妥当であろうと推定されているが、その根拠となった具体的なデータは明らかでない。

昨年建築学会が発表した鋼構造設計規準案では規準の国際性をはかる観点から既往の研究成果を考慮して溶接と高力ボルト摩擦接合を併用した場合、応力を分担させることができるという規定を新たに設けた。しかしリベットと高力ボルトの併用等その他の場合に対しては従来通り応力の分担を許容していない。その理由はこれらの併用接合について十分なデータがないことにある。

上のような事情から外国規準との関連あるいは併用接合に対する一般の要望に鑑み、鋼構造計算規準の改訂を契機として、この際併用接合に関する日本独自のデータを蓄積し、これを基に併用接合の規定を定めていくことが急務であるとされ、ここに鋼材倶楽部の援助を得て当小委員会が組織され、実験研究を推進することとなった。

本報告は2年にわたる研究のうちの初年度分の実験研究報告である。溶接（前面すみ肉と側面すみ肉）、高力

ボルト摩擦接合およびリベット接合による最も簡単な個々の継手ならびにこれらを組合わせた併用継手の基本的な性状を扱っている。

研究組織

委員長 加藤 勉（東 大）
委 員 阿部 一孝（日本鋼管）
岡松 真之（八幡製鉄）
田口 武一（横浜国大）
高 木 稔（八幡製鉄）
橋本 篤秀（東 工 大）
藤本 盛久（東 工 大）
舟橋 功男（竹中工務店）
田中 淳夫（大成建設）
吉本 昌一（桜田機械工業）

以上の委員の他、実験には特に下記の諸氏に参加御協力を願った。

東 大 森田 耕次、田村 繁守
東 工 大 泉 満、上 田 晃
八幡製鉄 堀田 智康、山本 隆士
日本鋼管 中 島 勉、中村喜十郎
竹中工務店 小林 昌一、沖 本 弘

1. 概 要

1.1 実験の目的

併用継手の設計法を確立するためには、まず併用継手の力学的性状を把握し、次にこれに基づいて十分安全に、かつ個々の接合の許容力に矛盾しないよう応力分担ないし許容力を決定しなければならない。本研究は前者を求める実験的研究であり、来年度も引続きデータをえて、後者を検討する資料とするものである。

一般に剛性および変形能力が異なる2種類以上の接合を併用した継手においてそれぞれの接合が分担する応力の大きさは、変形の適合条件より推定するのが順当であろうと考えられる。したがってもし個々の接合の性状が解明されており、これらの組合せに対して解析する方法がえられているならば、併用継手を理論的に扱うことも可能となろう。

しかし、実際には個々の接合も継手の形状が大型になるほど応力集中の介入によってその性状が複雑になり、

一律には取扱うことができなくなってくる。そして、これらが併用された併用継手に対して厳密な解析を試みる方法も今のところ確立されていない。そのため併用継手の性状を簡単な接合要素の性状に帰着して理解することが必ずしも容易でないばかりでなく、一般には困難でさえある。

考えられる併用継手の種類および併用された各接合の数量およびその比率は実に多様である。ゆえに上述の事項を考慮すれば、併用継手を全般的に扱うためには、本来多大の労力と時間を必要とし、また十分整理された計画にしたがって研究を推進することが要求される。

そこで本研究ではまず併用継手の種類として下に示すように4種類に限定し、各接合の最小単位を定めるとともに、接合部の全強を一定値以下に押えた。したがって併用された各接合の数量もある範囲内に止めた。今回の実験計画においては試験体形状をできるだけ統一し、さしあたり比較的単純な場合について主に累加強度の成立の有無およびその結果が個々の接合の変形能からどのように解釈されるかという点に着目した。本報告はさらに大型の併用継手についても系統的に検討が行なえるよう配慮した一連の実験計画の一部についてまとめたものである。

本研究の対象とする併用継手の種類

(試験体総数 111 体)

- (1) 前面すみ肉溶接と側面すみ肉溶接の併用
- (2) 高力ボルトと前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接のいずれか一方ずつおよび両方の同時併用
- (3) リベットと前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接のいずれか一方ずつおよび両方の同時併用
- (4) 高力ボルトとリベットの併用

1.2 実験の概要

前節に示した4種類の併用継手のほか、その解析に必要な前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接、高力ボルトおよびリベットの個々の継手を加え、計8種類の継手について実験を行なった。試験体の概略を図-1に示す。

ボルト、リベットの穴径は、その公称径+1.5 mm とし、高力ボルトに導入する軸力は高力ボルト摩擦接合設計規準による標準ボルト張力に近い値 (F 9 T・W 3/4, 14.0 t/本) とした。

図-1

図-1において前面、側面すみ肉溶接の長さは60 mmを単位長として、その整数倍にとる。本実験では配置上、側面すみ肉溶接は表、裏、左、右、4ビードで1単位となり、前面すみ肉溶接は表裏2ビードで1単位となる。高力ボルトおよびリベットは1本が1単位である。

各試験体は原則として1種類につき1体であるが、解析の基準になるものは3体ずつとした。試験体数および種類は3章に一括表示してある。

高力ボルトの締付けはトルクレンチを用い、高力ボルト摩擦接合施工規準にしたがって行った。また溶接と高力ボルトの併用継手では、溶接に先立ちボルト締めを行い、リベットと高力ボルトの併用継手ではボルト締めに先に行った。測定対象は降伏荷重、り荷重、最大荷重および図-1に示す標点間の変形で、荷重-変形関係をとらえることに主眼をおき、また破壊状況も観察することとした。

試験体の組立および実験に先立ち、穴径、板厚、板幅の実測および溶接長、脚長の実測を行なった。また高力ボルトについては軸径の測定とトルク係数試験を行なった。その他、試験材料の機械的性質について、それぞれJISによる方法により試験を行なって確認した。なお、供試体に用いた各材料は下記の通りである。

母 材 : SM 50 A ϕ 16 ϕ 32

高力ボルト : F 9 T・W 3/4 $\times$ 100

(ただし、根太りの影響をなくすため軸部は一律 18 ϕ に削り仕上げした。)

リベット : SV 41 ϕ 19

溶 接 棒 : JIS Z 3212 D-5028

(低水素系高張力鋼用)

2. 材 料

2.1 母 材

実験に用いた母材は SM 50 A の ϕ 16, ϕ 32 の2種であり、それぞれの板厚のものにつき JIS Z 2201 (金属材料引張試験方法) による1号試験片により引張り試験を行なった。

結果は表-2.1.1に示すようにいずれも規格値に合格している。一方母材の化学成分は表-2.1.2に示す。

表-2.1.1 母材の機械的性質

	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 度 (kg/mm ²)	伸 び (%)
JIS 規格 値	32 以上	50~62	21 以上
ϕ 16	35.0	54.2	24.9
ϕ 32	34.3	54.6	26.9

2.2 溶 着 金 属

表-2.1.2 母材の化学成分

試験片は JIS Z 2201 (金属材料引張試験方法) に規定された10号試験片で溶着金属塊中より機械にて切り出したものである。これを3本作

C	0.150%
Si	0.500%
Mn	1.310%
P	0.014%
S	0.020%

(ミルシートによる)

表—2.2.1

	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 度 (kg/mm ²)	伸 び (%)
JIS 規 格 値	42 以上	52 以上	22 以上
溶着金属の試験片	49.16	59.76	35.6
“ その 2	48.83	59.51	30.8
“ その 3	48.75	58.78	34.5

成した。

高張力鋼に用いる溶接棒は JIS Z 3212 により D 5028 を用いた。なお、溶着金属塊作成溶接条件は試験体溶接と同条件で行なった。応力、ひずみの測定には、軸平行部に W.S.G. (G.L=2 mm, G.F=2.13) を 2 枚貼り、それぞれに 2 Gage 法を用いた。その結果は表—2.2.1 に示す。いずれも JIS 規格に合格している。

2.3 高力ボルト

2.3.1 トルク係数

試験体組立時にボルトの導入軸力の管理をトルクレンチで行うのでボルトのトルク係数試験を行なった。

軸力はスキットモア軸力計をトルクレンチは東日 DL 型 (最大 8,500 kg·cm) を用いた。その結果は表—2.3.1 に示す。

表—2.3.1 トルク係数

資料	1	2	3	4	5	6	7	8	9
軸力 N									
24,000 lb 10.89 t	0.149	0.164	0.145	0.159	0.145	0.145	0.145	0.145	0.140
27,000 lb 12.26 t	0.146	0.163	0.141	0.154	0.137	0.133	0.146	0.146	0.137
31,000 lb 14.07 t	0.142	0.157	0.138	0.157	0.134	0.130	0.157	0.157	0.130
平 均	0.146	0.161	0.141	0.157	0.139	0.137	0.149	0.148	0.136
総 平 均	0.144								

2.3.2 ボルト完成品強度

JIS Z 2241 (金属材料引張試験方法) により、ボルトの完成品に座金角度 0° (10 本) のものと 10° (5 本) の勾配座金の 2 種について引張り強度試験を行なった。その際、頭部飛び等の不良品はなく、いずれも最小引張り荷重 (F 9 T・W 3/4-19.2 t) を超えている。結果は表—2.3.2 (1)、2.3.2 (2) に示す。

3. 試験体の組み合せおよび実験要領

3.1 試験体の組み合せ

試験体名称は $B_i R_j F_k S_l$ で表記し、その意味は下記の通りである。

表—2.3.2 (2) ボルト完成品引張試験 (座金勾配 10°)

資 料	1	2	3	4	5	平均	備考
F_B (t)	22.75	22.80	22.35	22.55	22.90	22.67	頭 ト ビ な し
破 断 位 置	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	—	
σ_B kg/mm ²	有効断面積 $A_e=2.135$ としたとき	106.65	106.89	104.78	105.72	107.36	
	実測軸断面積 $A_e=2.133$ としたとき	90.36	90.55	88.76	89.55	90.94	

B_i : 高力ボルト (F 9 T・W 3/4×100 削り 仕上げ 18 ϕ 1 本当たり 1 単位とする)

R_j : リベット (1 本当たり 1 単位とする)

F_k : 前面すみ肉溶接 (ビード基本長 60 mm とし表裏合わせて 2 ビードを 1 単位とする)

S_l : 側面すみ肉溶接 (ビード基本長 60 mm とし表裏合わせて 4 ビードを 1 単位とする)

なお、サブスクリプト i, j, k, l は各試験体に応じた B, R, F, S の単位数を書き込む表示とする。

例えば $B_1 R_0 F_2 S_2$ の表示は高力ボルト 1 本、リベット 0 本、前面すみ肉溶接 2 単位、側面すみ肉溶接 2 単位である。以上が一試験体の測定接合部に併用されていることを表示している。

また、試験体は高力ボルト、リベット、前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接の各々、およびこれら 4 種を組合せた下記の 12 形式とした。

- 1) 高力ボルト (5 種類 7 体)
- 2) リベット (4 種類 6 体)
- 3) 前面すみ肉溶接 (2 種類 4 体)
- 4) 側面すみ肉溶接 (4 種類 6 体)
- 5) 高力ボルトとリベット (20 種類 20 体)
- 6) 高力ボルトと前面すみ肉溶接 (7 種類 7 体)
- 7) 高力ボルトと側面すみ肉溶接 (7 種類 7 体)
- 8) リベットと前面すみ肉溶接 (8 種類 8 体)
- 9) リベットと側面すみ肉溶接 (12 種類 12 体)
- 10) 前面すみ肉溶接と側面すみ肉溶接 (8 種類 8 体)
- 11) 高力ボルトと前面すみ肉溶接と側面すみ肉溶接 (10 種類 10 体)
- 12) リベットと前面すみ肉溶接と側面すみ肉溶接 (15 種類 16 体)

全試験体の組み合わせを一括して表—3.1 に示す。

3.2 载荷と測定

表—2.3.2 (1) ボルト完成品強度 (座金勾配 0°)

資 料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
F_B (t)	22.75	22.75	22.65	22.65	22.55	22.61	22.61	22.94	22.30	23.00	22.69
破 断 位 置	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	ねじ部	—
σ_B kg/mm ²	有効断面積 $A_e=2.135$ としたとき	106.65	106.18	106.19	106.19	105.72	106.00	106.33	107.55	104.55	107.83
	実測軸断面積 $A_e=2.133$ としたとき	90.36	90.36	89.95	89.95	89.55	89.79	90.08	91.10	88.56	91.34

表-3.1 試験体の組み合わせ

単位数	B				R				F		S				F + S						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	1+1	1+2	1+3	1+4	2+1	2+2	2+3
B	1	3			3(2)	3(2)	1		1	1	1	1	1		1				1	1	
	2		1		3(2)	1			1	1	1	2(1)			1	2(1)			1		
	3			1	1				1	1	1				1						
	4				1				1	1	1				1						
R	1	3(2)	1	1	3				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1					1		1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	
	4							1	1	1	1	1	1		1				1		
F	1								3		1	1		1							
	2									1	1	1	1								
S	1										3										
	2											1									
	3												1								
	4													1							

(註) (a) ボルトとリベットの組合せのうち、一行二列 (BR) と二行一列 (RB) の違いは、前者 (BR) はボルトが試験体の内側にあり、後者 (RB) はリベットが試験体の内側にある。

(b) (1) は、試験体 2 体のうち、1 体はボルトに初張力を入れていないことを示す。

(c) (2) は、試験体 3 体のうち、2 体はボルトに初張力が入っておらず、更にそのうち 1 体は、クリアランスが 0.2mm のものである。

載荷は 200 t および 400 t アムスラー型万能試験機により引張載荷を行なった。測定は対象となる最大荷重、りり荷重、変形能力に関して行い、変形量についてはダイヤルゲージ (1/100 mm ストローク 1~3 cm) 2 台を取付け、さらに試験機と連動の X-Y レコーダーを併用して測定し、また、りり荷重値、最大荷重値、破断荷重値はレンジ読取り記録と試験機連動のドラムにより測定した。

荷重点、ダイヤルゲージのセット位置は下図の如く固定側中板と測定側中板に 6 mmφ のビスを溶接し、アルミニウムアングルを介して左右一台ずつ設置した。

実験結果はりり荷重、最大強度、破断状況、荷重-変形曲線、破壊状況について各試験体別に標準データ表に記入し、この標準データ表は建築学会に保存されている。

4. 結果の考察

4.1 単体の基本的性質

4.1.1 高力ボルト継手

本実験に用いた高力ボルト継手の基本的性質を図-4.1.1 に示し、実験結果を表-4.1.1 にまとめた。

○りり荷重、りり係数：ボルト 1 本あたりのりり荷重の

図-4.1.1

表-4.1.1

試験体名称	実験結果			りり荷重		最大強度
	りり荷重 $sP(t)$	最大強度 $\max P(t)$	$0.9 \max P$ 時の変形能力 $\times 10^{-2} mm$	りり係数 μ	$\frac{sP}{n \cdot s\bar{P}}$	$\frac{\max P}{n \cdot \max \bar{P}}$
B ₁ F ₀ F ₀ S ₀	14.0	32.6	221	0.50	0.87	1.02
B ₁ F ₀ F ₀ S ₀	11.0	31.2	228	0.39	0.69	0.98
B ₁ R ₀ F ₀ S ₀	16.0	30.8	231	0.57	1.00	0.97
B ₂ R ₀ F ₀ S ₀	41.1	67.7	240	0.73	1.28	1.06
B ₃ R ₀ F ₀ S ₀	46.1	96.0	257	0.55	0.96	1.00
B ₄ R ₀ F ₀ S ₀	74.6	123.0	218	0.67	1.16	0.96
平均値	りり荷重 $s\bar{P}=16.0 t/本$	最大強度 $\max \bar{P}=32.0 t/本$	$0.9 \max \bar{P}$ 時の変形能力 $\mu=0.57$	$\sigma=3.36 t/本$	$\sigma=0.38 t/本$	$\sigma=0.12$

○ n はボルト本数

平均値は $s\bar{P}=16.0 t/本$ その標準偏差は $\sigma=3.36 t/本$ であった。ボルトの導入軸力が 14.0 t であるので、りり係数は 0.57 (標準偏差 0.12) となる。

○最大強度：ボルト 1 本あたりの最大強度の平均値は $\max \bar{P}=32.0 t/本$ その標準偏差は $\sigma=0.38 t/本$ と算出され、ボルト本数の増加によりボルト 1 本あたりの最

大強度の低下は認められない。

○変形能力：最大荷重時の変形測定が困難であったため、 $0.9 \max P$ 時の変形量を表—4.1.1 にかかげた。ここで意味する変形量とは標点間距離の伸びであり、全試験体について、2.3 mm 程度の値を得た。

4.1.2 リベット継手

本実験に用いたリベット継手の基本的性質を図—4.1.2 に示し、実験結果を表—4.1.2 にまとめた。

図—4.1.2

表—4.1.2

試験体名称	実験結果			すべり荷重 $\frac{sP}{n \cdot s\bar{P}}$	最大強度 $\frac{\max P}{n \cdot \max \bar{P}}$
	すべり荷重 sP (t)	最大強度 $\max P$ (t)	$0.9 \max P$ 時の変形能力 $\times 10^{-2} \text{ mm}$		
B ₀ R ₁ F ₀ S ₀	12.1	21.0	236	0.99	1.00
B ₀ R ₁ F ₀ S ₀	12.0	20.5	256	0.98	0.97
B ₀ R ₁ F ₀ S ₀	11.0	20.5	263	0.90	0.97
B ₀ R ₂ F ₀ S ₀	27.0	42.4	241	1.11	1.01
B ₀ R ₃ F ₀ S ₀	40.0	64.5	267	1.09	1.02
B ₀ R ₄ F ₀ S ₀	43.6	86.3	285	0.90	1.03
リベット 1 本 当りの平均値	すべり荷重 $s\bar{P} = 12.2 \text{ t/本}$	最大強度 $\max \bar{P} = 21.1 \text{ t/本}$	$\sigma = 1.09 \text{ t/本}$ $\sigma = 0.55 \text{ t/本}$		

○迂り荷重：リベット継手では荷重—変形曲線より変形が急激に増大する荷重を見かけの迂り荷重とした。その値は、平均 $s\bar{P} = 12.2 \text{ t/本}$ 、標準偏差 $\sigma = 1.09 \text{ t/本}$ であった。したがって迂り係数を高力ボルトの項で算出した $\mu = 0.57$ に等しいと仮定すると、リベットの導入軸力は 9.6~11.8 t/本 (平均 10.6 t/本、標準偏差 0.29 t/本) 程度と考えられる。

○最大強度：リベット 1 本あたりの最大強度の平均は $\max \bar{P} = 21.1 \text{ t/本}$ その標準偏差は $\sigma = 0.55 \text{ t/本}$ と計算され、リベット本数の増加によりリベット 1 本あたりの最大強度の低下は認められない。

○変形能力：高力ボルトの項と同様に $0.9 \max P$ 時の標点間距離の伸びを採用した。この荷重時における変形量は、全試験体について同程度の値を示し、約 2.5 mm であった。

4.1.3 すみ肉溶接継手

本実験に用いた前面すみ肉溶接継手、および側面すみ肉溶接継手の基本的性質を図—4.1.3(1) および図—

図—4.1.3(1) 前面すみ肉溶接

図—4.1.3(2) 側面すみ肉溶接

4.1.3(2) に示す。

すみ肉溶接継手の最大強度に関しては、I.I.W.(International Institute of Welding) の一連の研究がある。この研究によれば、溶接金属の引張強度 σ_B の推定値は次の通りである¹⁾。

$$\sigma_B = 0.6 \sigma_w + 0.4 \sigma_p$$

ただし、 σ_w ：全溶着金属の引張強度

σ_p ：母材（ここでは $\phi 32 \text{ mm}$ を考える）の引張強度

これを本実験に適用すると $\sigma_w = 59.35 \text{ kg/mm}^2$ 、 $\sigma_p = 54.6 \text{ kg/mm}^2$ であるから $\sigma_B = 57.45 \text{ kg/mm}^2$ となる。しかし今回の実験は溶接が single bead であるため溶接金属の材質変化が著しく、また溶接棒が鉄粉低水素系であるから溶接による溶け込み量が比較的大きいと思われる。一方、試験体ののど厚が小さいため最大強度に与える溶け込み量の影響は大きい。以上を考慮して、以下に理論強度と実験結果の比について考察を行う。

理論強度としては、(1)、(2) 式を考える²⁾。

(前面すみ肉溶接継手)

$$P_F = 1.46 A_F \sigma_B / \sqrt{3} \dots\dots\dots (1)$$

(側面すみ肉溶接継手)

$$P_s = A_s \sigma_B / \sqrt{3} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 A_F ：前面すみ肉溶接継目ののど断面積

A_s ：側面すみ肉溶接継目ののど断面積

実験結果より次のことがわかる。

表—4.1.3(1) 前面すみ肉溶接継手

試験体名称	最大強度 $\max P$ (t)	のど厚 a_F (mm)	A_F (cm^2)	$\beta_F = \frac{\max P}{P_F}$
B ₀ R ₀ F ₁ S ₀	55.2	5.1	6.438	1.77
B ₀ R ₀ F ₁ S ₀	55.5	4.8	6.223	1.84
B ₀ R ₀ F ₁ S ₀	59.5	5.0	6.326	1.93
B ₀ R ₀ F ₂ S ₀	109.6	5.0	12.010	1.87
β_F の平均値	1.85	標準偏差	0.067	

表—4.1.3(2) 側面すみ肉溶接継手

試験体名称	最大強度 $\max P$ (t)	のど厚 a_s (mm)	A_s (cm^2)	$\beta_s = \frac{\max P}{P_s}$
B ₀ R ₀ F ₀ S ₁	63.1	5.2	12.306	1.55
B ₀ R ₀ F ₀ S ₁	59.9	4.5	11.387	1.59
B ₀ R ₀ F ₀ S ₁	61.8	5.1	12.890	1.45
B ₀ R ₀ F ₀ S ₂	125.3	5.1	24.690	1.53
B ₀ R ₀ F ₀ S ₃	180.6	5.2	32.250	1.69
B ₀ R ₀ F ₀ S ₄	243.6	4.5	44.640	1.64
β_s の平均値	1.58	標準偏差	0.085	

- 溶接継手の最大変形能力は他の継手（高力ボルト，リベット）に比較して著しく少ない。
- 標点間距離および母材の存在応力が異なるために直接的比較は行えないが，前面すみ肉溶接継手ののど厚 5 mm の試験体の伸び能力は 7.3×10^{-1} mm で側面の 14.1×10^{-1} mm に比較して約半分と見なすことが出来る。
- 前面，および側面すみ肉溶接継手とも，この程度の溶接長では溶接長の相違による寸法効果は認められない。
- I.I.W. の実験結果を統計的に処理すれば $\beta_F = 1.341 + 1.189/a_F$ ， $\beta_s = 1.189 + 1.625/a_s$ である。

今回の実測値 a_F ， a_s を上式に代入すれば $\beta_F = 1.58$ ， $\beta_s = 1.52$ となる。前面すみ肉溶接継手に関しては今回の実験結果は I.I.W. の実験結果に比べて大きい値を示したが，側面すみ肉溶接に関しては I.I.W. の実験結果とほぼ一致した。

- 荷重—変形曲線より併用すみ肉継手の耐力を予想するパラメータとして

$$\frac{(\text{前面すみ肉溶接が最大強度に達する変形量})}{(\text{同じ変形量の時の側面すみ肉溶接の荷重})} = 0.96$$

(側面すみ肉溶接継手の最大強度)

を得た。これは先の I.I.W. の結果とほぼ一致した。

4.1.4 接合単位強度

前出の結果により，各接合の単位強度は，表—4.1.4

表—4.1.4

接合名称	最大強度 (単位: t)
高力ボルト	32.0
リベット	21.1
前面すみ肉溶接	$P_1 = 1.46 A_F \beta_F \sigma_B / \sqrt{3}$
側面すみ肉溶接	$P_2 = A_s \beta_s \sigma_B / \sqrt{3}$
高力ボルトにり荷重	16.0
リベットにり荷重	12.2

に示す通りである。今後の考察解析においては，この数値および下記の記号を用いる。

sP : にり荷重 (t)

$\max P$: 最大荷重 (t)

累加強度: 表—4.1.4 の接合単位強度を単純に累加したもので

$$sP_{TL} = \begin{aligned} &[(\text{高力ボルトのにり荷重}) \times \text{本数}] \\ &+ [(\text{リベットのにり荷重}) \times \text{本数}] \\ &+ [(\text{高力ボルトのにり荷重}) \times \text{本数}] \\ &+ (\text{溶接の最大強度}) \\ &+ [(\text{リベットのにり荷重}) \times \text{本数}] \\ &+ (\text{溶接の最大強度}) \end{aligned}$$

mP_{TL} : 各組み合わせの最大強度を単位数にしたがって累加したもの。

4.2 併用すみ肉溶接継手

4.1.3 の前面および側面すみ肉溶接継手の実験結果を用いて併用継手の強度を検討する。なお，I.I.W. の実験結果と比較するため理論強度として¹⁾

$$P_3 = 0.934 \beta_2 (1.7 A_F + A_s) \sigma_B / \sqrt{3} \dots\dots\dots (3)$$

を適用してみる。計算した結果は表—4.2 の通りである。

なお，参考のために試験体 B₀R₀F₁S₀，B₀R₀F₀S₁，B₀R₀F₁S₁ の荷重—変形曲線を図—4.2 に示す。

以上の結果より次のことがわかる。

- 本実験の場合でも I.I.W. の併用継手に関する実験結果に良く一致している。
- 併用継手の最大強度は mP_{TL} の 94.9% である。

なお，今後の考察においては，前面すみ肉および側面すみ肉の併用すみ肉溶接の溶接強度としては (4) 式

表—4.2 併用すみ肉溶接継手

試験体名称	最大荷重 $\max P$ (t)	A_F (cm^2)	A_s (cm^2)	$\frac{\max P}{mP_{TL}}$	$\frac{\max P}{P_3}$
B ₀ R ₀ F ₁ S ₁	110.5	6.26	12.57	0.91	0.98
B ₀ R ₀ F ₁ S ₂	167.2	6.38	22.39	0.96	1.03
B ₀ R ₀ F ₁ S ₄	253.7	5.75	44.38	0.83	0.96
B ₀ R ₀ F ₂ S ₁	161.9	11.98	12.00	0.95	1.02
B ₀ R ₀ F ₂ S ₂	218.3	10.79	21.47	1.05	1.12
B ₀ R ₀ F ₂ S ₃	258.1	11.28	43.38	0.99	0.85
平均				0.949	0.99
標準偏差				0.0719	0.089

図—4.2

表-4.3.1 前面すみ肉溶接+高力ボルト

試験体名称	(1) 最大強度 $\max P$ (t)	(2) 溶接強度* (t)	(3) (1)-(2)	(3) ボルト本数	併用効率**	mP_{TL} (t)	$\frac{\max P}{mP_{TL}}$	sP_{TL} (t)	$\frac{\max P}{sP_{TL}}$
B ₁ R ₀ F ₁ S ₀	71.0	57.0	14.0	14.0	0.44	89.0	0.80	73.0	0.97
B ₁ R ₀ F ₂ S ₀	126.5	106.2	20.3	20.3	0.63	138.2	0.92	122.2	1.04
B ₂ R ₀ F ₁ S ₀	89.5	60.7	28.5	14.25	0.45	124.7	0.72	92.7	0.96
B ₂ R ₀ F ₂ S ₀	139.6	106.7	22.9	11.45	0.36	170.7	0.82	138.7	1.01
B ₃ R ₀ F ₁ S ₀	106.8	59.5	47.3	15.77	0.49	155.5	0.69	107.5	0.99
B ₃ R ₀ F ₂ S ₀	153.6	105.5	48.1	16.03	0.50	201.5	0.76	153.5	1.00
平均				15.3	0.48		0.79		1.00
標準偏差					0.0898		0.082		0.029

* 表-4.1.4 参照

** 併用効率 = $\frac{(\text{ボルト(またはリベット)と溶接の併用継手最大強度}) - (\text{左と同型の試験体でボルト(またはリベット)を含まないものの最大強度})}{\text{ボルト(またはリベット)最大強度} \times \text{ボルト(またはリベット)本数}}$

$$P_3 = 1.461(1.7 A_F + A_s) \sigma_B / \sqrt{3} \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\sigma_B = 5.75 \text{ t/cm}^2$$

を適用する。

4.3 高力ボルトと溶接の併用継手

4.3.1 高力ボルトと前面すみ肉溶接の併用継手

この場合に該当する試験体の実験結果を表-4.3.1 に示す。

表に見る通り併用効率 0.48 ($S=18.7\%$)、かつ $\max P/sP_{TL}$ の平均値 1.00 ($S=2.9\%$) となっている。ただし、

$$S = \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}} \times 100 (\%)$$

である。

このことは 前面すみ肉溶接の破断時の伸び量 (0.7 mm) が小さく、ボルトが母材にタッチして剪断力を受持つまでのりり量 (1.0~1.5 mm) より小さいため、前面すみ肉溶接が破断に到るまでボルトは摩擦力で力を溶接と分担していると推察できる。

以上の考察より前面すみ肉溶接と高力ボルト併用時の最大強度は

前面すみ肉溶接+高力ボルトりり荷重で表わせる。

4.3.2 高力ボルトと側面すみ肉溶接の併用継手

前と同様に各試験体の結果を表-4.3.2 に示す表に見る通り、併用効率は 0.62 ($S_0=28.7\%$)。かつ $\max P/sP_{TL}$ の平均値 1.09 ($S=7.8\%$) となっている。

このことは、側面すみ肉溶接の変形可能量が S_1 (1.3 mm), S_2 (2.2 mm), S_3 (2.8 mm) であり、ボルトのりり量 (1.0~1.5 mm) より大きいので、破断荷重時にはボルトはりりを完了しており、母材にタッチして剪断により荷重を溶接と分担し、1本当りのボルトがりり荷重以上の力を受持つことになる。

以上より側面すみ肉溶接と高力ボルトの併用時強度は下式となる。

$$\begin{aligned} & \text{溶接強度} + \text{高力ボルトりり荷重} < \text{併用強度} \\ & < \text{溶接強度} + \text{高力ボルト最大強度} \end{aligned}$$

よって、高力ボルトと側面すみ肉溶接との併用継手の強度として溶接強度に高力ボルトのりり荷重を加算すれば最大強度に対し安全側の評価となる。

4.3.3 高力ボルト、前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接の併用継手

この場合の試験体についてまとめると表-4.3.3 となる

表-4.3.3 前面すみ肉溶接+側面すみ肉溶接+高力ボルト

試験体名称	最大強度 $\max P$ (t)	溶接強度 (t)	併用効率	mP_{TL} (t)	$\frac{\max P}{mP_{TL}}$	sP_{TL} (t)	$\frac{\max P}{sP_{TL}}$
B ₁ R ₀ F ₁ S ₁	122.6	123.6	—	155.0	0.79	139.0	0.88
B ₁ R ₀ F ₂ S ₁	176.0	160.8	0.48	192.8	0.91	176.8	1.00
B ₁ R ₀ F ₂ S ₂	196.0	184.4	0.36	216.4	0.91	200.4	0.98
B ₂ R ₀ F ₁ S ₁	129.4	111.3	0.28	175.3	0.74	143.3	0.90
B ₂ R ₀ F ₁ S ₂	175.1	160.5	0.23	224.5	0.78	192.5	0.91
B ₂ R ₀ F ₁ S ₂₋₀	199.3	164.0	0.55	228.0	0.87	196.0	1.02
B ₂ R ₀ F ₂ S ₁	171.7	164.5	0.11	228.5	0.75	196.5	0.87
B ₃ R ₀ F ₁ S ₁	166.4	117.4	0.46	213.4	0.78	165.4	1.01
平均			0.31		0.82		0.95
標準偏差			0.301		0.07		0.062

表-4.3.2 側面すみ肉溶接+高力ボルト

試験体名称	(1) 最大強度 $\max P$ (t)	(2) 溶接強度 (t)	(3) (1)-(2)	(3) ボルト本数	併用効率	mP_{TL} (t)	$\frac{\max P}{mP_{TL}}$	sP_{TL} (t)	$\frac{\max P}{sP_{TL}}$
B ₁ R ₀ F ₀ S ₁	76.0	62.5	13.5	13.5	0.42	94.5	0.80	78.5	0.97
B ₁ R ₀ F ₀ S ₂	129.0	108.8	20.2	20.2	0.63	140.8	0.92	124.8	1.03
B ₁ R ₀ F ₀ S ₃	168.0	157.0	11.0	11.0	0.34	189.0	0.89	173.0	0.97
B ₂ R ₀ F ₀ S ₁	104.5	60.2	44.3	22.15	0.69	124.2	0.84	92.2	1.13
B ₂ R ₀ F ₀ S ₂	159.0	107.4	51.6	25.8	0.81	171.4	0.93	139.4	1.14
B ₂ R ₀ F ₀ S ₂₋₀	158.2	116.2	42.0	21.0	0.66	180.2	0.88	148.2	1.06
B ₃ R ₀ F ₀ S ₁	134.0	58.0	76.0	25.3	0.79	154.0	0.87	106.0	1.33
平均				19.9	0.62		0.88		1.09
標準偏差					0.178		0.045		0.085

る。

この表中で目立つことは前二者に較べ、併用効率が 0.31 ($S=97.1\%$)、 $\max P/sP_{TL}$ が 0.95 ($S=6.5\%$) と小さくなり、かつ、ばらついている事である。 $\max P/sP_{TL}$ が小さいのは溶接強度のバラツキも十分考えられるが、一般的に三者を併用する場合は、高力ボルトの迂り荷重を加算する事も危険と思われる。

以上、高力ボルトと溶接が併用された試験体についての考察を数字による表に基づいておこなったが、その様子を一覧できるように図—4.3.1, 4.3.2, 4.3.3に示した。

4.4 リベットと溶接の併用継手

4.4.1 最大強度

4.4.1.1 リベットと前面すみ肉溶接の併用継手

この場合に該当する全試験体についてまとめると表—4.4.1 となる。

表に見る通り、併用効率は 0.56 ($S=34.3\%$)、かつ $\max P/sP_{TL}$ の平均値は 1.00 ($S=10.0\%$) となる。リベットと前面すみ肉溶接の併用時の最大強度に関しては、 $\max P/sP_{TL}$ の標準偏差が高力ボルトと前面すみ肉溶接の併用継手の場合より大きい、高力ボルトと前面

図—4.3.1

図—4.3.2

図-4.3.3

すみ肉溶接の併用継手と同様な関係が成立する。

4.4.1.2 リベットと側面すみ肉溶接の併用継手

該当する試験体の実験結果を表-4.4.2 に示す。

表に見る通り、リベットと側面すみ肉溶接の併用時の

表-4.4.1 前面すみ肉溶接+リベット

試験体名称	$\max P$ (t)	溶接強度	併用効率	$\frac{\max P}{m P_{TL}}$	$\frac{\max P}{s P_{TL}}$
B ₀ R ₁ F ₁ S ₀	71.6	63.5	0.38	0.85	0.95
B ₀ R ₁ F ₂ S ₀	113.0	99.8	0.63	0.93	1.01
B ₀ R ₂ F ₁ S ₀	92.7	51.5	0.98	0.99	1.22
B ₀ R ₂ F ₂ S ₀	136.0	116.8	0.45	0.86	0.96
B ₀ R ₃ F ₁ S ₀	85.8	51.1	0.55	0.75	0.98
B ₀ R ₃ F ₂ S ₀	135.0	103.6	0.50	0.81	0.96
B ₀ R ₄ F ₁ S ₀	90.8	54.8	0.40	0.65	0.88
B ₀ R ₄ F ₂ S ₀	141.0	89.8	0.61	0.81	1.02
平均			0.56	0.83	1.00
標準偏差			0.192	0.1045	0.0996

表-4.4.2 側面すみ肉溶接+リベット

試験体名称	$\max P$ (t)	溶接強度	併用効率	$\frac{m P_{TL}}{\max P}$	$\frac{\max P}{s P_{TL}}$
B ₀ R ₁ F ₀ S ₁	68.0	60.4	0.36	0.83	0.94
B ₀ R ₁ F ₀ S ₂	124.6	107.2	0.82	0.97	1.04
B ₀ R ₁ F ₀ S ₃ (175.8)					
B ₀ R ₁ F ₀ S ₄	230.0	203.9	1.24	1.02	1.12
B ₀ R ₂ F ₀ S ₁	89.5	51.8	0.89	0.95	1.17
B ₀ R ₂ F ₀ S ₂	146.4	103.3	1.02	1.01	1.19
B ₀ R ₂ F ₀ S ₃	215.0	155.2	1.42	1.09	1.20
B ₀ R ₃ F ₀ S ₁	105.2	56.3	0.77	0.88	1.13
B ₀ R ₃ F ₀ S ₂	158.8	104.5	0.86	0.95	1.13
B ₀ R ₃ F ₀ S ₃	207.2	149.5	0.92	0.97	1.11
B ₀ R ₄ F ₀ S ₁	138.5	56.3	0.97	0.98	1.32
B ₀ R ₄ F ₀ S ₂	169.2	107.6	0.73	0.88	1.08
平均			0.91	0.96	1.13
標準偏差			0.274	0.073	0.0966

最大強度に関しては、併用効率が 0.91 ($S=30.1\%$)、かつ $\max P/s P_{TL}$ の平均値が 1.13 ($S=8.5\%$) と標準偏差は大きい、高力ボルトと側面すみ肉溶接の併用継手の場合と同等ないしそれ以上の併用効果を示す。すなわち、リベットと側面すみ肉溶接の併用継手の強度として溶接強度とリベットの迂り荷重の和を考えれば安全側の評価となる。

4.4.1.3 リベット、前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接の併用継手

該当する試験体の実験結果を表-4.4.3 に示す。

表に示す通り、リベット、前面すみ肉溶接、側面すみ肉溶接の併用時の最大強度に関しては、併用効率が

表-4.4.3 前面すみ肉溶接+側面すみ肉溶接+リベット

試験体名称	最大強度 $\max P$ (t)	溶接強度	併用効率	$\frac{\max P}{m P_{TL}}$	$\frac{\max P}{s P_{TL}}$
B ₀ R ₁ F ₁ S ₁	148.2	114.6	1.59	1.09	1.17
B ₀ R ₁ F ₁ S ₂	173.8	148.5	1.20	1.02	1.08
B ₀ R ₁ F ₁ S ₃	224.0	209.4	0.69	0.97	1.01
B ₀ R ₁ F ₁ S ₄ (233.9)					
B ₀ R ₁ F ₂ S ₁	184.5	172.2	0.58	0.95	1.00
B ₀ R ₁ F ₂ S ₂ (234.0)					
B ₀ R ₁ F ₂ S ₃	238.5	232.0	0.31	0.94	0.98
B ₀ R ₂ F ₁ S ₁	135.0	106.7	0.67	0.91	1.03
B ₀ R ₂ F ₁ S ₂ (160.2)					
B ₀ R ₂ F ₁ S ₃	231.5	196.1	0.84	0.97	1.05
B ₀ R ₂ F ₂ S ₁	214.0	168.6	1.08	1.02	1.11
B ₀ R ₂ F ₂ S ₂	227.8	190.2	0.89	0.98	1.06
B ₀ R ₃ F ₁ S ₁	136.2	97.8	0.61	0.85	1.02
B ₀ R ₃ F ₁ S ₂	198.0	161.1	0.58	0.88	1.00
B ₀ R ₃ F ₂ S ₁	202.5	160.7	0.66	0.90	1.03
B ₀ R ₄ F ₁ S ₁	152.7	97.2	0.66	0.84	1.05
平均			0.80	0.95	1.05
標準偏差			0.33	0.072	0.052

0.80 ($S=41.3\%$), かつ $\max P/sP_{TL}$ の平均値が 1.05 ($S=5.0\%$) なる関係がある。すなわち, 併用時の最大強度はリベットの迂り荷重に前面すみ肉および側面すみ肉の併用溶接継目の最大強度を加えたものである。

なお, 表—4.4.1~4.4.3 で最大強度 $\max P$ に () をつけた試験体は母材またはカバープレート部分で破断したもので, 本来の実験目的にそぐわない。したがってこれらの試験体に関しては考察の対象外とした。

以上 4.4.1.1 から 4.4.1.3 に見る通り, リベットと溶接の併用継手の最大強度はリベットの迂り荷重と溶接強度の和なる関係が成立する。

しかし, リベット, 前面すみ肉溶接, 側面すみ肉溶接の 1 単位づつを増加した場合の試験体の最大強度におよぼす影響を調べた 図—4.4.1 より, i), ii) の傾向が認められる。

- i) リベットと側面すみ肉溶接の併用継手では継手の最大強度は, リベットの増加または溶接の増加に大体比例して増加している。
- ii) 前面すみ肉溶接を含む併用継手では継手の最大強度はリベット数または前面すみ肉溶接の増加に必ずしも比例して増加せず, 場合によってはリベットが増加しても継手の最大強度はほとんど変化しないことさえある。

その上, リベットの迂り荷重は, 試験体製作状況により相違し一般には不明確である。

以上の事実から総合的に見て, リベットと溶接の併用継手には累加強度の考え方が成立するか否かはなお検討

の必要があるが一般的には適用し難いと考えられる。

4.4.2 変 形

リベットだけがが増えてゆく場合の接合部の荷重—変形関係を図—4.4.2(1)~4.4.2(4) に示す。

これらの結果から大略次のことがいえる。

- i) リベットと溶接の併用継手ではリベットだけの増減は接合部の初期剛性に影響がない。
- ii) 最大荷重に至るまでの接合部の変形量は, リベッ

図—4.4.2(1)

図—4.4.1

図-4.4.2(2)

図-4.4.2(3)

トと前面すみ肉溶接の併用の場合には 0.65~1.20 mm の範囲にあり、ほとんどが 1 mm 以下である。

リベットと側面すみ肉溶接の併用継手では 1.54~2.45 mm (母材が降伏したと考えられるものを除く) で明らかに後者の方が変形能力に富んでいる。前者は前面すみ肉溶接のみ、後者は側面すみ肉溶接のみの接合部の変形量と大差ない。

以上の諸結果は、リベットの剛性が溶接のそれに比して相当小さいということに関連している。

4.5 高力ボルトとリベットの併用継手

高力ボルトとリベットを併用した場合の累加効果を調べるため、12 体について試験を行った。両者の併用は高力ボルト m 本、リベット n 本とした場合、 $m+n=2, 3, 4$ の全ての組合せによった。この中で下図の例のごとく加力方向に対して高力ボルトとリベットの配列を逆

図-4.4.2(4)

にしたものも検討した。

試験結果の一覧を表-4.5.1 に示す。

4.5.1 最大強度

最大強度結果は、表-4.5.1 の (2) 列と、配列別に図-4.5.1 とに示した。累加効率 ($\max P/mP_{TL}$) を求め

図-4.5.1 最大荷重

表-4.5.1 高力ボルト+リベット

試験体名称	実 験 結 果			累 加 効 率				(8)
	(1)	(2)	(3)	すべり荷重		最大強度		併用効率
	sP (t)	$\max P$ (t)	すべり 係 数 μ	(4)	(5)	(6)	(7)	
				sP_{TL}	$\frac{sP}{sP_{TL}}$	mP_{TL}	$\frac{\max P}{mP_{TL}}$	
B ₁ R ₁ F ₀ S ₀	38.5	58.7	0.78	28.2	1.36	53.1	1.10	1.25
R ₁ B ₁ F ₀ S ₀	35.7	51.4	0.72	28.2	1.26	53.1	0.97	0.91
B ₁ R ₂ F ₀ S ₀	46.5	81.0	0.66	40.2	1.13	74.2	1.09	1.15
R ₂ B ₁ F ₀ S ₀	51.0	78.1	0.72	40.2	1.27	74.2	1.05	1.08
B ₂ R ₁ F ₀ S ₀	52.4	83.1	0.68	44.2	1.19	85.1	0.98	0.90
R ₁ B ₂ F ₀ S ₀	53.8	85.0	0.70	44.2	1.21	85.1	1.00	0.99
B ₁ R ₃ F ₀ S ₀	55.0	92.8	0.60	52.6	1.04	95.3	0.97	0.95
R ₃ B ₁ F ₀ S ₀	42.2	99.6	0.46	52.6	0.80	95.3	1.04	1.04
B ₂ R ₂ F ₀ S ₀	60.0	113.0	0.61	56.4	1.06	106.2	1.06	1.15
R ₂ B ₂ F ₀ S ₀	58.0	102.2	0.59	56.4	1.03	106.2	0.96	0.90
B ₃ R ₁ F ₀ S ₀	66.2	116.0	0.63	60.2	1.10	117.1	0.99	0.94
R ₁ B ₃ F ₀ S ₀	67.8	118.6	0.71	60.2	1.12	117.1	1.02	1.06
平 均					1.13		1.02	1.03
標 準 偏 差					0.148		0.048	0.115

ると、表—4.5.1 の (7) 列のようになる。この効率値は 0.96~1.10 で平均 1.02、標準偏差 $\sigma=0.048$ である。これから両者の併用継手においては、その配列 ($B_m R_n$, $R_n B_m$) に関係なく、各々の値を累加したものに等しいと考えられる。よって最大荷重は今回の本数以内であれば下式が成立すると考えてよい。

$${}_m P_{T-L} = m \times \max P_B + n \times \max P_R$$

次に 4.3 で定義したボルトまたはリベットと溶接との併用効率の考えを導入し、高力ボルトと併用したリベットの最大強度の併用効率を下式より求めてみる。

$$(\text{併用効率}) = \frac{(\text{ボルトとリベットの併用継手の最大強度}) - (\text{単体のボルト強度}) \times (\text{併用継手のボルトのみの数})}{(\text{単体リベット最大強度}) \times (\text{併用継手の使用リベット本数})}$$

この結果、表—4.5.1 の (8) 列に示されるように、0.90~1.25 の範囲で平均 1.03、標準偏差 $\sigma=0.115$ である。

よって累加効率も併用効率も 1.0 に等しい。逆に高力ボルトの併用効率を求めても概ね 1.0 になるはずである。

4.5.2 じり荷重

じり荷重の結果は表—4.5.1 の (1) 列と、配列別に図—4.5.2 とに示した。じり荷重に対する併用継手の累加効率 (${}_s P / {}_s P_{TL}$) を求めると表—4.5.1 の (5) 例のようになる。これの平均は 1.13 で標準偏差は 0.148 であって累加が成立するように見られる。

図—4.5.2 じり荷重

じり係数は高力ボルトのみの継手の結果表—4.1.1 より、平均 0.57 ($\sigma=0.12$) である。接合面は同一仕上であるので、リベットのみの継手の見かけじり荷重からリベットの見かけ導入軸力を逆算すると、平均 12.2 t/本 ($\sigma=1.09$ t/本) であった。以上のリベット見かけ軸力 12.2 t/本と高力ボルト導入軸力 14.0 t/本を加えた累加軸力を用いて、実験じり荷重 ${}_s P$ よりすべり係数を求めると 0.44~0.74 の範囲で平均 0.60 ($\sigma=0.08$) であった。

4.5.3 変形

測定した荷重変形曲線のうち、ボルト 1 本、2 本についてリベット本数を増加させた場合の曲線をまとめて図 4.5.3(1)~4.5.3(2) に示す。

最大荷重に対する変形は測定できなかったが、参考までに $0.9 P_{\max}$ 時の変形を求めると以下の数値となる。

高力ボルト継手:

218~257 $\times 10^{-2}$ mm 平均 232 $\times 10^{-2}$ mm

リベット継手:

236~285 $\times 10^{-2}$ mm 平均 258 $\times 10^{-2}$ mm

併用継手:

207~395 $\times 10^{-2}$ mm 平均 264 $\times 10^{-2}$ mm

したがって最大荷重時の変形はほぼ三者とも等しいといえよう。

図—4.5.3(1) ボルト 2 本の場合

図—4.5.3(2) ボルト 1 本の場合

これより、併用継手の最大荷重において高力ボルトおよびリベットの累加が成立することが理解できる。

4.5.4 支圧効果

併用継手において高力ボルトに軸力を導入せず、支圧効果を期待した試験を一部の組合せについて行ない変形性状を比較した。孔のクリアランスは通常の 1.5 mm と、変形を小さくするため、0.2 mm にしたもの 2 種類である。結果を表—4.5.2、図—4.5.4(1)~4.5.4(3)に示す。なお、図では比較のため同一の組合せで軸力を導入した試験体の荷重—変形曲線を加えた。

表—4.5.2 より若干のパラッキはみられるが最大荷重

表—4.5.2

試験体名称	実 験 結 果		累加効率 $\frac{\max P}{m P_{TL}}$	ボルト孔クリアランス (mm)
	最大荷重 $\max P$ (t)	0.9 $\max P$ 時の変形 (mm)		
B ₁ R ₁ F ₀ S ₀ -0	54.8	2.70	1.01	1.5
B ₁ R ₁ F ₀ S ₀ -02	50.8	1.69	0.96	0.2
R ₁ B ₁ F ₀ S ₀ -0	51.3	2.40	0.97	1.5
R ₁ B ₁ F ₀ S ₀ -02	53.2	1.24	1.00	0.2
B ₁ R ₂ F ₀ S ₀ -0	78.1	2.85	1.03	1.5
B ₁ R ₂ F ₀ S ₀ -02	64.8	1.40	0.87	0.2
B ₂ R ₁ F ₀ S ₀ -0	85.6	2.27	1.01	1.5
B ₂ R ₁ F ₀ S ₀ -02	83.4	2.17	0.98	1.5*
平 均			0.98	
標準偏差			0.05	

* 製作時に 0.2 mm クリアランスが確保されなかった。

はクリアランスの大きいものの方がむしろ大きい。これは、リベットに大変形の予地を与えるため、それだけリベットの協力率が高くなるものと考えられる。しかしこの差は実質的なものではなく、実用的には累加が成立するものとみてよい。

図—4.5.4 より軸力が導入された継手では急激な応りを生ずるのに対し、軸力なしでクリアランス 1.5 mm の場合はリベットの応り以後リベットの支圧が作用し、ゆるやかに変形が増大する。

また、軸力なしでクリアランス 0.2 mm の場合はリベットの応りと同時に高力ボルトとリベットの両者の支圧が作用し、それだけ変形が少なくなだらかな変形性状を示している。

0.9 $\max P$ 時の変形についてクリアランス 1.5 mm と 0.2 mm の場合を比較すると前者は平均 2.65 mm、後者は平均 1.44 mm で前者の 55% である。

参 考 文 献

- 1) 仲 威雄, 加藤 勉, 他 1 名, 「溶接継手の耐力」日本建築学会論文叢告集 No. 146, 昭和 43 年 4 月
- 2) 仲 威雄, 加藤 勉, 「前面隅肉溶接の破壊機構と強度について」溶接学会誌 No. 34 (1965)

図—4.5.4(1)

図—4.5.4(2)

図—4.5.4(3)

The subject of research is (A) carpenter, (B) plasterer, (C) masonry, (D) painter.

CONCLUSION. Craftmens' wage include 10.9-17.7 of expence, tool and equipment loss allowance, loss time for private possession of tool and equipment mentenance (calculated in term of monetary value), traffic expence.
(BY CRAFTMEN, carpenter-16.3%, plasterer-17.3, masonry-13.0, painter-10.9)

[TECHNICAL INFORMATION]

U.D.C. 624.014.2 : 624.078.2

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE STRENGTH OF COMBINED JOINTS OF VARIOUS CASES (1)

by WORKING GROUP ON THE COMBINED JOINTS

In Japan, experimental datas on the strength of combined joints are not sufficient, and so by the working group the strength of combined joints of next cases is examined experimentally

- i) High tension bolt and fillet weld
- ii) Rivet and fillet weld
- iii) Rivet and high tension bolt

These experiments are limited to the case the fasteners are rather small.

As the result of these test, as for the case i) and ii) the ultimate strength of the combined joints is the sum of the slip load of high tension bolt or rivet and the maximum load of fillt weld, and as for the case iii) the ultimate strength of the combined joints is the sum of the maximum load of high tension bolt and that of rivet.