

片側前面隅肉溶接により補強したリベット継手・高力ボルト継手の引張実験

熊本大学 工学部 学生員 ○川崎 悟司

熊本大学大学院 自然科学教育部 学生員 秦 子策

熊本大学大学院 先端科学研究部 正会員 森山 仁志

熊本大学大学院 自然科学教育部 正会員 松村 政秀

1. 研究背景および目的

鋼橋のリベット接合部は、その凹凸形状から雨水の滞留や塗膜の劣化による腐食が生じやすい。リベット頭部の腐食やリベットの取換えに着目した研究^{1,2)}は見られるが、連結板際部の母板が腐食する際部腐食に着目した研究は少ない。文献³⁾では、際部腐食した既設リベット桁から要素継手を切出し、片側の腐食した際部を隅肉溶接する補強効果を引張実験により確認している。本研究では、連結板際部とリベット頭部がともに腐食した場合を想定し、リベットを高力ボルトに取換えたうえで、片側前面隅肉溶接したボルト継手の引張実験を行い、補強効果や片側溶接補強したリベット継手との力学挙動の差異を確認した。

2. 実験計画

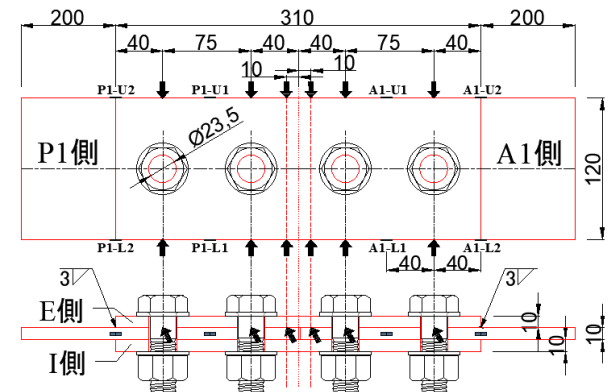
実験ケースは、表-1 に示すように溶接なしリベット継手 (R)，溶接ありリベット継手 (RW)，溶接あり高力ボルト継手 (BW) の 3 ケースである。図-1 にケース BW の形状を示す。いずれも、文献³⁾と同じ桁より切り出し、同じ寸法である。ウェブ鋼板・リベット・高力ボルトの機械的性質を表-2 にまとめた。ウェブ鋼板とリベットの溶接割れ感受性組成 P_{CM} はそれぞれ 0.240, 0.194 であった³⁾。

前面隅肉溶接はエンドタブを用いた一方向手溶接とし、E 側（桁の外側）の母板と連結板端部に対して行った。溶接前には塗膜除去・除錆・水洗・乾燥・脱脂を行っている。設計のど厚は断面欠損による耐力低下を溶接部で補うように 3mm に設計した。

実験中は、荷重 P ，母板-連結板の相対変位 δ_r ，母板コバ面のひずみ ε_{side} を計測している。载荷速度は手動調整で 2kN/s とした。最大荷重 P_{max} を確認した後は速やかに $0.5P_{max}$ まで除荷を行い、計測機器を取り外し、供試体が破断するまで再载荷を行った。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-1 に示す。実のど厚 a は供試体の両側コバ面にて計測した。純断面降伏荷重 P_{yn} は図-1 に示す位置の母板コバ面ひずみ ε_{side} が降伏ひずみ $\varepsilon_y (= \sigma_y/E)$ に初めて到達した時の荷重である。



E：桁の外側（海側），I：桁の内側 ひずみゲージ（長 5mm）
A1 側：橋台側，P1：橋脚側 ↑：相対変位計測位置

図-1 供試体形状の一例（ケース BW，単位：mm）

表-1 実験ケースおよび実験結果

実験ケース	供試体番号	実のど厚 a (mm)	純断面降伏荷重 P_{yn} (kN)	純断面降伏したコバ面ゲージ位置	最大荷重 P_{max} (kN)	破壊モード	破断側
Non-Weld (R)	1		425.5	P1-U2	531.2	端抜け+リベットせん断破断	A1
	2		437.2	A1-U2	504.1		
Rivet+Weld (RW)	1 (1Pass)	A1 4.0 P1 3.8	459.3	A1-U2	635.8	端抜け+リベットせん断破断	A1
	2 (1Pass)	A1 4.8 P1 5.3	416.7	A1-U2	645.8		
	3 (2Pass)	A1 2.5 P1 3.0	393.7	A1-U2	552.5		P1
	4 (2Pass)	A1 3.5 P1 3.5	430.4	P1-L2	593.4		
	1	A1 2.6 P1 2.7	433.9	A1-U2	583.3	端抜け破断	A1
	2	A1 4.0 P1 4.0	399.4	A1-L2	623.8	端抜け破断	
Bolt+Weld (BW)	3	A1 2.1 P1 2.4	430.2	A1-U2	566.3	純断面破断	

表-2 機械的性質（材料試験結果）

鋼種	採取位置	供試体数	弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν	降伏点 σ_y (MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
SM490YA	A1	5	196,030	0.284	488.8	597.8	34.6	-
	P1	5	195,310	0.293	457.1	605.0	37.3	-
SV400	-	7	203,773*	0.290	342.3	507.9	26.6	70.8
F10T-M22	-	6	208,121	0.283	1000.9	1050.2	17.5	61.6

* 計測不良のため 2 本平均

式(1)～(4)に示すように、未溶接(R)の最大荷重の平均値 $P_{max-Ravg}$ に溶接部の降伏および最大耐力 P_{wyd}, P_{wtd} を足し合わせて、供試体の終局耐力 P_{cal1}, P_{cal2} を計算した。

$$P_{wyd} = al \times \tau_y \quad (1), \quad P_{wtd} = al \times \tau_t \quad (2)$$

$$P_{cal1} = P_{max-Ravg} + P_{wyd} \quad (3)$$

$$P_{cal2} = P_{max-Ravg} + P_{wtd} \quad (4)$$

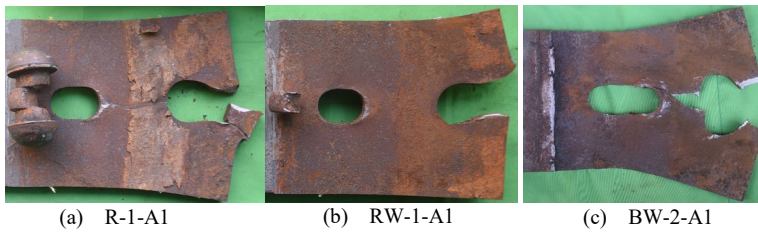
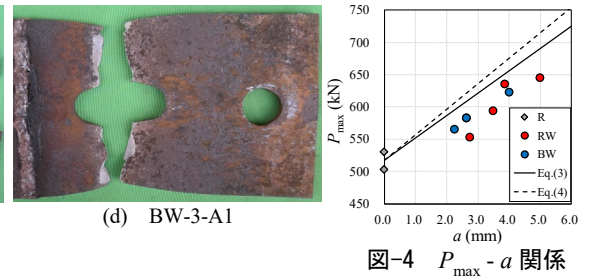


図-3 荷役後供試体

図-4 $P_{\max}$ - a 関係

ここに、 a : 実のど厚、 l : 溶接長、 $\tau_y (= \sigma_y / \sqrt{3})$: せん断降伏強度、 $\tau_t (= \sigma_t / \sqrt{3})$: せん断強度、 $\sigma_y (=500 \text{ MPa})$: 溶接部の耐力⁴⁾、 $\sigma_t (=570 \text{ MPa})$: 溶接部の引張強度⁴⁾である。

荷役後の供試体を図-3、 $P_{\max}$ - a 関係を図-4、 P - δ_r 関係を図-5、ケース BW の P - N/N_{ini} 関係を図-6 にそれぞれ示す。高力ボルトの軸力変化率 N/N_{ini} は実験中の軸力 N を表-3 に示す試験前の軸力 N_{ini} で除したものである。

表-1 および図-4 に示すように、 $P_{\max}$ - a 関係は比例関係となり、RW, BW ともに最大荷重の増加が確認された。ケース RW の $P_{\max}$ は P_{cal1} , P_{cal2} より小さい。これは、図-5 の P - δ_r 関係から、母板と連結板の相対変位 δ_r が溶接により拘束され、ファスナーのせん断抵抗が小さくなるため³⁾と考えられ、 δ_r は純断面降伏荷重 P_{yn} 以降に増加した。

破壊モードは、ケース R, RW では母板縁端部の端抜け+外側リベットのせん断破断が確認された。ケース BW では、端抜け破断と純断面破断の2つが確認され、ボルトのせん断破断は生じていないことから、ファスナー自体の強度が破壊モードに影響していた。

図-6 より、荷役中の軸力低下は P_{yn} 以降に大きく、母板と連結板の相対変位 δ_r の増加に対応していた。純断面破断した BW-3 の A 側では、図-6 と表-3 に示すように、溶接による軸力低下量が小さく、荷役中の軸力低下挙動は内側・外側でほぼ同程度であったが、これらの結果と破壊モードの関係については今後の検討課題と考える。

4. まとめ

本研究では、連結板際部の母板が腐食したリベット継手に対する、前面隅肉溶接による片側溶接補強工法の効果を引張実験により確認した。以下に得られた結果をまとめる。

- 1) 片側前面隅肉溶接を施したリベット継手 (RW) ・高力ボルト摩擦接合継手 (BW) の $P_{\max}$ - a 関係は比例関係となり、どちらも同程度の最大荷重の増加が確認された。
- 2) RW はリベットのせん断破断が生じ、BW ではボル

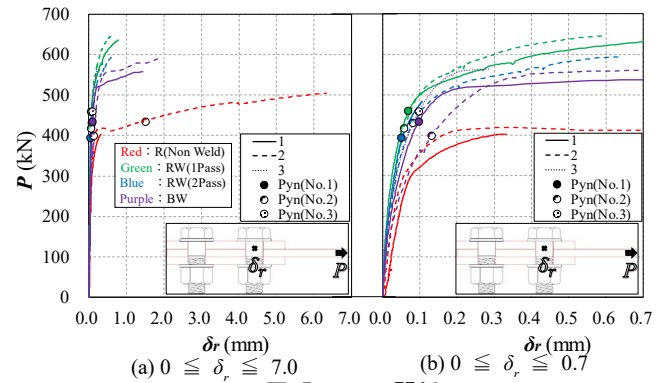
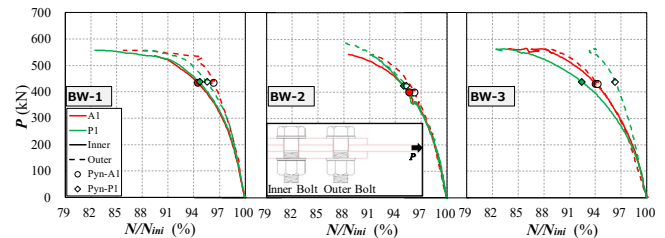
図-5 P - δ_r 関係図-6 P - N/N_{ini} 関係

表-3 溶接前および試験前軸力

供試体名	N_{bw} (溶接前軸力) (kN)				N_{ini} (試験前軸力) (kN)			
	A1		P1		A1		P1	
	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer
BW-1	206.2	202.0	209.7	206.4	206.0	166.0	192.4	101.7
BW-2	203.1	203.7	208.1	210.3	193.6	73.2	202.0	157.3
BW-3	206.0	202.5	206.8	205.9	201.9	167.2	196.2	84.1

- トのせん断破断は生じず、母板のみが破断した。
- 3) 2)より、リベット頭部腐食が軸部まで進展する等、リベットのせん断耐力が期待できない場合⁵⁾には、高力ボルトに取換えたうえで隅肉溶接による補強工法を適用すると効果的である。

謝辞 本研究は、(公財) 前田記念工学振興財団の助成を受けた。実験に供した桁は熊本県宇城市より提供いただいた。ここに記して謝意を記す。

参考文献

- 1) 橋本国太郎, 山口隆司, 三ツ木幸子, 杉浦邦征: 腐食損傷を受けたリベット継手の力学的挙動に関する検討, 構造工学論文集, Vol. 56A, pp.756-765, 2021.
- 2) 判治剛, 鷺見俊哉, 館石和雄, 清水優, 長坂康史, 竹淵敏郎: リベットと高力ボルトを併用した継手の力学挙動と耐力評価, 土木学会論文集 A1, Vol. 77, No.3, pp.489-508, 2021.
- 3) 森山仁志, 否笠弘美, 秦子策, 松村政秀: 連結板際部で母板が腐食したリベット継手の片側溶接補強, 鋼構造論文集, Vol.29, pp.58-66, 2021.
- 4) 日本溶接工業株式会社: 日鉄溶接材料ハンドブック, CT-03Cr, pp.40-41, 2019.
- 5) 否笠弘美, 森山仁志, 秦子策, 松村政秀: リベットの腐食程度および腐食箇所が継手の耐荷性能に及ぼす影響, 令和2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-014, pp.27-28, 2020.