

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工法に関する基礎実験

熊本大学工学部社会環境工学科 学生員 ○否笠弘実 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 学生員 秦 子策 熊本大学大学院自然科学教育部 正会員 松村政秀

1. 研究背景および研究目的

リベット継手はその凹凸形状から雨水の滞留や塗膜の劣化に起因した腐食が生じやすく、橋梁の健全度に影響を与える箇所である。リベット頭部の腐食やリベットの取換え補修に着目した研究事例は多く見られるが^{1),2)}、連結板際部を滴る雨水により周辺母板が腐食する場合（図-1）もあり、この場合は際部での破壊が懸念される。際部腐食の補修・補強方法に、接着剤や高力ボルトによる当て板工法が考えられるが、前者では耐久性、後者では追加孔による応力集中や断面欠損が問題となる。一方、溶接割れや疲労亀裂に対する安全性を満足すれば、隅肉溶接により簡易に補強することも可能と考えられる。そこで本研究では、際部の腐食が認められた既設リベット桁から要素継手を切出し、前面隅肉溶接による片側補強工法の効果を引張実験により確認した。

2. 実験計画

実験供試体（図-2）は、鋼ランガー桁橋の主桁ウェブパネルを現場でガス切断し、切出しパネルのシアプレート、ウォータージェットにより短冊状に切断して製作した。母板と連結板の鋼材は化学成分が管理された構造用鋼 SMA490AP、リベットはSV400である。材料試験の結果より、母材とリベットの降伏点 σ_y (MPa)と引張強度 σ_t (MPa)は、A1 側・P1 側母板、リベットの順に $(\sigma_y, \sigma_t) = (508, 603), (495, 621), (349, 510)$ であった。

表-1 に実験ケースを示す。実験パラメータは溶接の有無、溶接パス数である。溶接を行うケースでは、図-3 に示すように、連結板際部で母板が腐食している。腐食位置はE 側（桁外側（海側））表面であり、減肉量は設計厚の 10%以下である。本工法は熱変形や疲労亀裂の観点から、このような損傷初期での適用を想定している。前面隅肉溶接はエンドタブを用いた 1 方向手溶接とし、除錆を行ったうえで E 側表面の全幅に対して実施した。未溶着箇所が一部確認されたことから、その品質は現場溶接でも十分に期待できる程度である。被覆アーク溶接棒の耐力・引張強さのカタログ参考値はそれぞれ 500, 570MPa である⁴⁾。

3. 実験結果および考察

溶接後に計測した実のど厚 a 、最大荷重 P_{max} と破壊モードを表-1 に、載荷後の供試体の様子を図-4 に示す。実のど厚 a はエンドタブ切断後の両側コバ面にて算出し、両側の平均値と最小値を示している。また、その大きさは目標のど厚 3mm に対して 2.0 ~ 5.5mm とばらつきがあり、パス数には比例しなかった。破壊モードは、いずれのケースも母板縁端部の端抜けとリベットのせん断の連成破断であった。溶接補強した Weld Pass1, Weld Pass2 の最大荷重 P_{max} は、未溶接の Non-Weld のそれに対してそれぞれ 25%程度、10%程度増加した。



図-1 連結板際部における母板腐食の事例³⁾

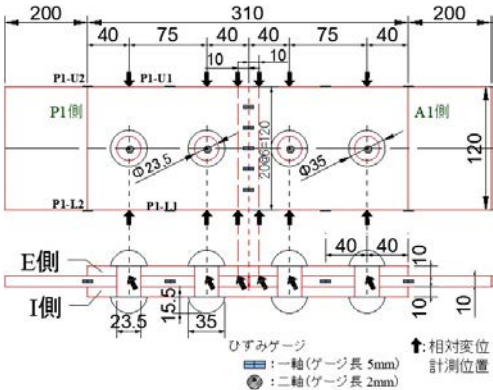


図-2 供試体形状（単位：mm）

表-1 実験ケースおよび実験結果

Test Case	Specimen No.	Thickness at splice pl. end (A1-P1) t_{res} (mm)	Actual throat thk. at failure side (Avg. eval) a_{Avg} (mm)	Actual throat thk. at failure side (Min. eval) a_{Min} (mm)	Maximum Load P_{max} (kN)	Failure Mode	Failure side
Non-Weld	1	9.79-10.1	-	-	531	Mixed Failure of plate and rivet shear	A1
	2	10-10.3	-	-	504		A1
Weld Pass1	1	9.79-10.1	4	3.5	636	end shear and rivet shear	P1
	2	9.52-9.9	5.25	5	646		P1
Weld Pass2	1	9.48-10.2	3	2	553		P1
	2	9.26-10.1	3.5	3	593		P1

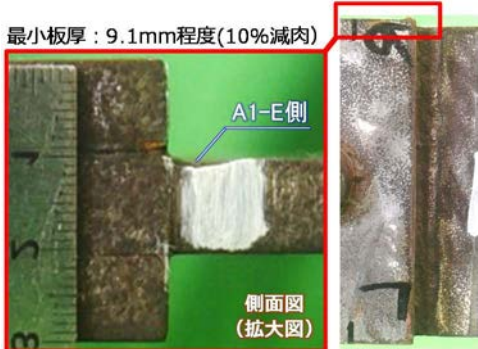


図-3 連結板際部の腐食状況（Weld Pass2-2）

キーワード：リベット継手、溶接、補強、要素試験
連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1 熊本大学 大学院先端科学研究部 TEL: 096-342-3532 FAX:096-342-3507

$P_{\max}$ と a の関係を図-5 に示す. 図中には, 未溶接の Non-Weld の $P_{\max}$ の平均値に溶接部の降伏・最大耐力を単純累加した計算値 P_{cal1}, P_{cal2} (式(1), (2)) を直線で示している.

$$P_{cal1} = P_{\max-mwng} + al \times \tau_y \quad (1), \quad P_{cal2} = P_{\max-mwng} + al \times \tau_t \quad (2)$$

ここに, $P_{\max-mwng}$: Non-Weld の最大荷重の平均値, l : 溶接長, $\tau_y (= \sigma_y / \sqrt{3})$: せん断降伏強度, $\tau_t (= \sigma_t / \sqrt{3})$: せん断強度である.

溶接補強後の $P_{\max}$ は, 図-5 に示すように, 実のど厚 a に概ね比例していることが確認された. 一方, 実験値は計算値 P_{cal1}, P_{cal2} より小さく, 本実験の溶接品質の影響はあるものの, 前面隅肉溶接による補強効果は, 溶接部強度の単純累加で表すことができない. これは, 溶接により母板と連結板の相対変位が抑制され, リベットに作用するせん断力が低減したためと考えている.

E 側, I 側各連結板の荷重分担関係を図-6 に示す. E 側, I 側各連結板の分担力 N_E, N_I は遊間部の作用ひずみから式(3)にて計算した. 連結板の弾性係数は未明なため, $E^* = 2.0 \times 10^5$ MPa とした.

$$N_j = A_j \times E^* \varepsilon_j \quad (3)$$

ここに, A_j : 連結板の断面積 (実測値), E^* : 弾性係数, ε_j : 連結板のひずみ (5箇所) の平均値) である.

未溶接の Non-Weld では, I 側連結板の荷重分担量が E 側のそれより大きい. これは, E 側のリベット頭部が現場鍛造により成形されており, 母板・連結板の孔中心に対する位置ずれや孔内への未充填などの施工誤差の影響を受けたためと推察される. 一方, 連結板際部を溶接補強した場合は, 溶接した E 側の荷重分担量が I 側よりも大きくなり, 連結板間の荷重分担が均等化した.

4. まとめ

本研究では, 連結板際部の母板に腐食が認められた既設リベット桁から要素継手を切出し, 前面隅肉溶接による片側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) 際部において母板と連結板を前面隅肉溶接したリベット継手の補強効果は実のど厚 a に概ね比例し, 溶接後の最大荷重 $P_{\max}$ は, 未溶接の $P_{\max}$ よりも 10~25%程度増加した. しかしながら, 前面隅肉溶接による補強効果は溶接部強度を単純累加できないことも明らかとなった.
- 2) 本工法により連結板間の荷重分担は均等化した. したがって, 損傷側表面を溶接する方法だけでなく, 健全側表面を溶接することで損傷側の応力低減を図る方法も有効であると考えられる.

謝辞: 本研究は (公財) 前田記念工学振興財団の助成を受けて行った. 実験に供したウェブ継手は, 熊本県宇城市よりご提供いただいた. ここに記して謝意を表す.

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, 2010.
- 2) 小松靖朋, 中上貴裕, 柚本真介, 小林茂, 松本崇志, 山口隆司: リベット継手の高力ボルト置き換えによる補修・補強工法に関する実験的研究, 鋼構造論文集, Vol. 22, No. 85, pp.1-14, 2015.
- 3) 林野庁: 対策区分の判定 鋼部材の損傷①腐食, 林道施設長寿命化対策マニュアル (別冊), 付録-1.1 (その 3), pp.66, 2015.
- 4) 日鉄溶接工業株式会社: 日鉄溶接材料ハンドブック, CT-03Cr, pp. 40-41, 2019.

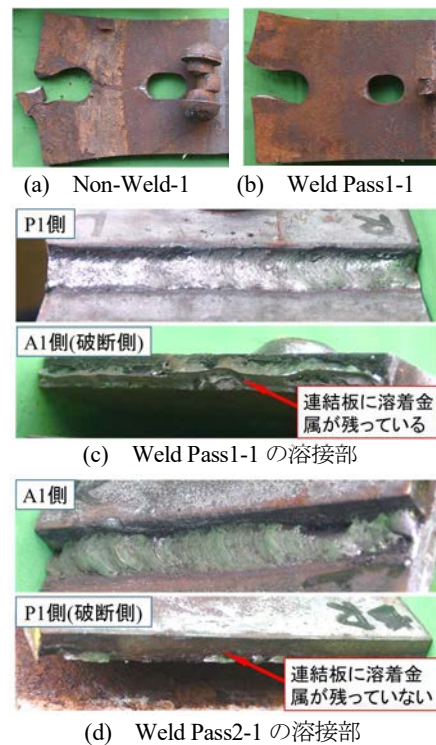


図-4 载荷後の供試体の様子

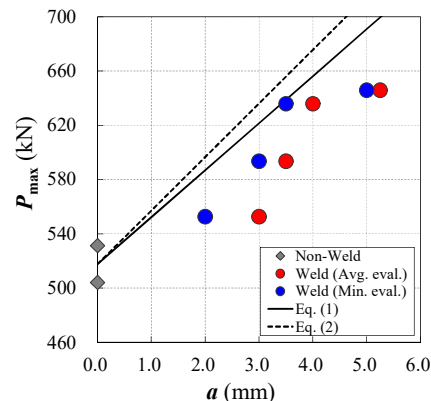


図-5 最大荷重 $P_{\max}$ と実のど厚 a の関係

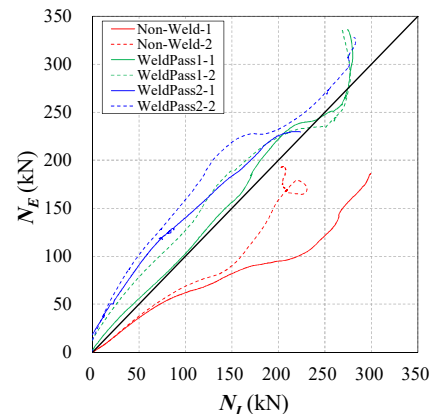


図-6 連結板間の荷重分担関係