

レーザ・アークハイブリッド溶接を用いた十字および縦方向継手の疲労強度

名古屋大学 ○正会員 判治 剛 フェロー会員 館石 和雄 正会員 清水 優 学生会員 澤井 公哉
三井造船鉄構エンジニアリング株式会社 正会員 内田 大介 正会員 浅野 浩一 三井造船株式会社 木村 陵介

1. はじめに

レーザ・アークハイブリッド溶接(以下、ハイブリッド溶接)は、レーザ溶接とアーク溶接を組み合わせた溶接法であり、アーク溶接に比べて高速で深い溶込みが可能である。本研究では、ハイブリッド溶接による十字および縦方向継手の疲労試験を行い、その疲労強度を示した。

2. 十字溶接継手試験体と試験方法

十字継手は荷重伝達型¹⁾および荷重非伝達型とし、その形状および寸法を図-1と表-1に示す。主板厚、溶接速度および接合方法が異なっている。接合方法は、主板の両面からリブを溶接する両側すみ肉タイプと、主板の片面からのみ溶接する片側貫通タイプの2種類とした。マクロ写真を図-2に例示する。試験方法は既報¹⁾と同様であり、引張と板曲げ载荷とした。ただし、NC1とNC3試験体は板曲げ試験のみとした。鋼種はSM400またはSM490である。どちらの継手も止端形状や残留応力の傾向は既報¹⁾と同じであり、ここでは割愛する。

3. 縦方向溶接継手試験体と試験方法

試験体は図-3に示す鋼I桁とし、試験対象はフランジとウェブの縦方向溶接である。フランジとウェブに組立溶接を施した後、本溶接を行った。組立溶接にはCO₂溶接またはレーザ溶接を用い、ウェブ片面につき3箇所とした。組立溶接の外観を図-4に示す。本溶接はハイブリッド溶接またはCO₂溶接とした。試験ケースを表-2に示す。鋼種はSM400である。载荷は4点曲げで行い、等曲げ区間の上下フランジに貼付したひずみゲージの値から縦方向溶接位置での公称応力範囲を求めた。応力範囲は約185N/mm²とし、载荷速度は1.3Hz~1.5Hzとした。

4. 疲労試験結果

十字継手の疲労試験結果を図-5, 6に示す。図中には荷重伝達型に対する過去の結果¹⁾も載せているが、その実験において溶接速度の影響は小さいことが示されており、ここでは区別せずに考察する。引張疲労試験では止端破壊

表-1 十字溶接継手試験体一覧

継手形式	名称	接合法	tm [mm]	tr [mm]	溶接速度 [m/min]
荷重伝達型	C1 ¹⁾	両側すみ肉	8	8	0.8
	C2 ¹⁾	両側すみ肉	16	16	0.8
	C3 ¹⁾	両側すみ肉	16	16	1.0
	C4	片側貫通	8	8	0.8
荷重非伝達型	NC1	両側すみ肉	8	16	0.8
	NC2	両側すみ肉	16	16	0.8
	NC3	両側すみ肉	25	16	0.8
	NC4	片側貫通	8	8	0.8

表-2 縦方向溶接継手試験体一覧

名称	組立溶接		本溶接	
	溶接法	溶接速度 [m/min]	溶接法	溶接速度 [m/min]
L1	CO ₂	0.35	CO ₂	0.35
L2	CO ₂	0.35	ハイブリッド	1.0
L3	レーザ	0.6	ハイブリッド	1.0

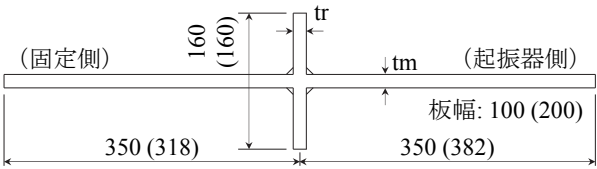


図-1 引張用十字継手 (括弧内は板曲げ用) Unit: mm

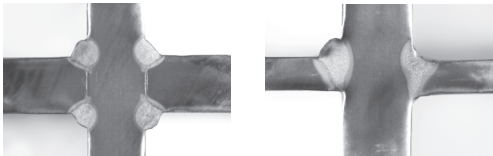


図-2 マクロ写真の例

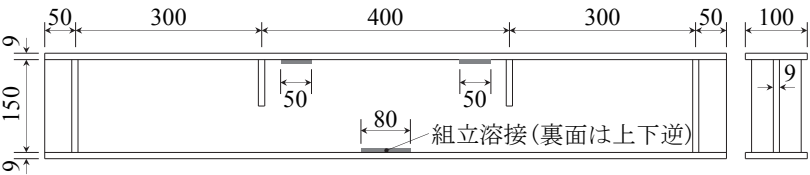


図-3 縦方向継手 Unit: mm

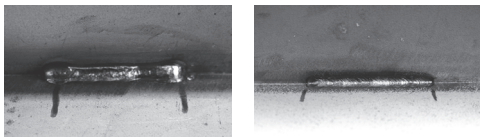


図-4 組立溶接の外観

キーワード レーザ・アークハイブリッド溶接, 疲労強度, 十字継手, 縦方向継手, 板厚効果, 組立溶接
連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL: 052-789-4618

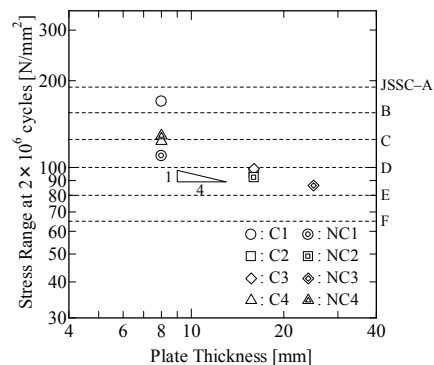
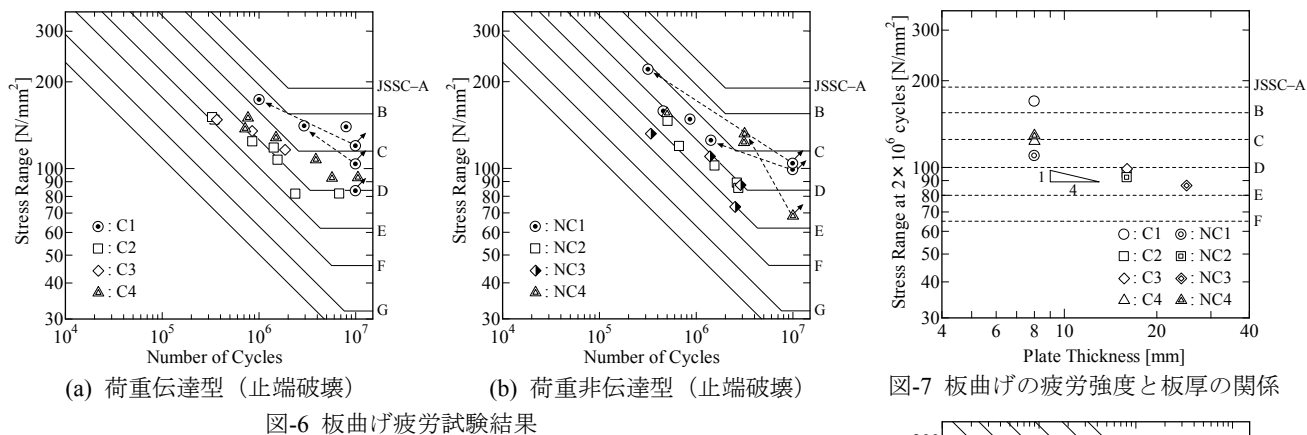
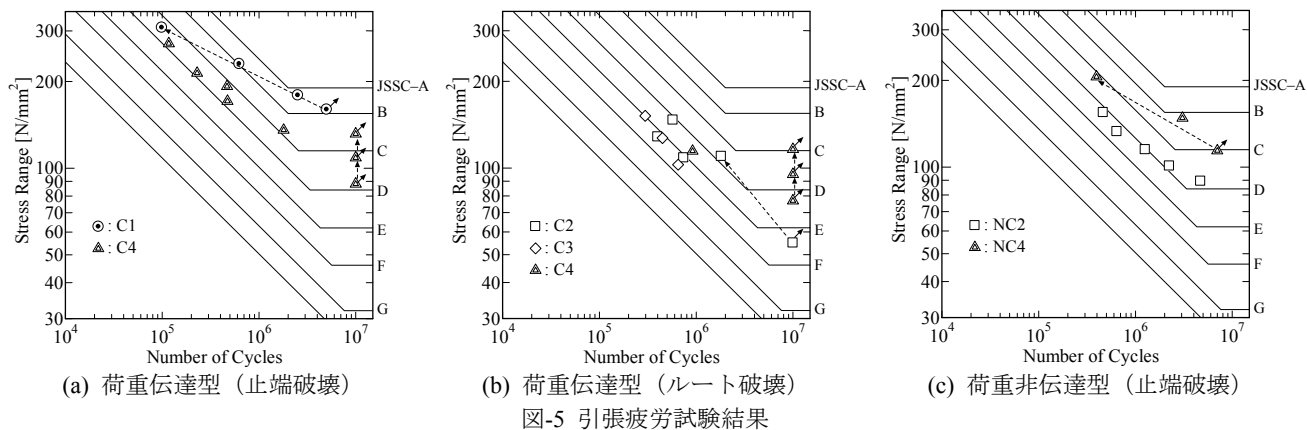


図-7 板曲げの疲労強度と板厚の関係

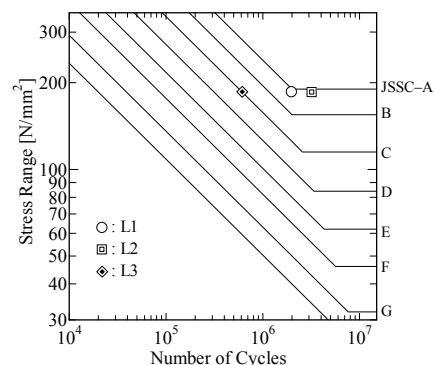


図-8 縦方向継手の疲労試験結果

とルート破壊が生じた。ルート破壊の場合は、荷重範囲を実のど断面積で除した応力範囲で整理している²⁾。止端破壊では、どちらの継手形式も JSSC-E 等級を満たしている。特に、片面から溶接した場合でも D 等級以上の疲労強度である。ルート破壊した試験体は F 等級を下限としており、H 等級を満足している。また板曲げ疲労試験ではすべて止端破壊であり、結果は止端位置の応力範囲に板曲げを考慮して 4/5 を乗じた応力範囲で整理している²⁾。片側貫通の試験体は、板曲げの場合でも両側すみ肉と同程度の疲労強度である。また主板厚に着目すると、板厚の小さい試験体の疲労強度が高く、板厚の増加に伴って疲労強度が低下している。特に板厚 25mm の試験体では、E 等級を下回る結果も得られた。板曲げの各試験ケースに対して、傾きを 3 として求めた回帰線から 200 万回時の応力範囲と板厚の関係性を求めた。その結果を図-7 に示す。板厚の増加に伴い、疲労強度が低下しており、板曲げの場合であっても板厚効果を確認できる。その低減度合は、ハイブリッド溶接継手でも従来のアーク溶接の継手²⁾とほぼ同じである。

縦方向継手の疲労試験結果を図-8 に示す。き裂は溶接内部から発生し、溶接線直角方向に進展した。き裂進展によって最大変位が急増したときを疲労寿命とした。き裂は上フランジにも確認されたが、支配的なき裂は下フランジのものであった。組立溶接に CO₂ 溶接を用いた場合、本溶接の種類によらず高い疲労強度を示しており、D 等級を満足している。一方、組立溶接にレーザ溶接を用いた場合は D 等級を満たしているものの、他よりも疲労強度が低い。本溶接内のブローホールがき裂の起点となった可能性があり、組立溶接の影響ではないと考えられる。よって、組立溶接を含む場合でも、ハイブリッド溶接継手の疲労強度は現行の指針を満足する可能性が示された。

5. まとめ

ハイブリッド溶接継手の疲労強度を実験により明らかにした結果、十字継手および縦方向継手に関しては、従来のアーク溶接による継手の疲労強度と同じように扱えばよいことが示された。

参考文献 1) 本田ら：土木学会第 70 回年次学術講演会, I-371, pp.741-742, 2015. 2) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 2012 年改定版, 2012.