

### レーザー・アークハイブリッド溶接を用いた荷重伝達型十字継手の疲労強度

名古屋大学 学生会員 ○本田 直也, フェロー会員 館石 和雄  
 名古屋大学 正会員 判治 剛, 正会員 清水 優  
 三井造船鉄構エンジニアリング (株) 正会員 浅野 浩一

#### 1. はじめに

一般的な溶接法であるアーク溶接とレーザー溶接を組み合わせたレーザー・アークハイブリッド溶接（以下、ハイブリッド溶接）は、アーク溶接に比べ高速で溶接変形が少なく、レーザー溶接に比べ継手部のギャップ裕度を大きくすることができる。一方、ハイブリッド溶接はアーク溶接に比べ、脚長が小さく溶け込みが深いという特徴があり、溶接部の力の伝達、溶接残留応力、溶接部の応力集中が従来のアーク溶接と異なる可能性がある。そこで、本研究では溶接金属の強度が現れやすい荷重伝達型十字継手に対して、引張および板曲げ疲労試験を行い、ハイブリッド溶接継手の疲労強度を明らかにした。

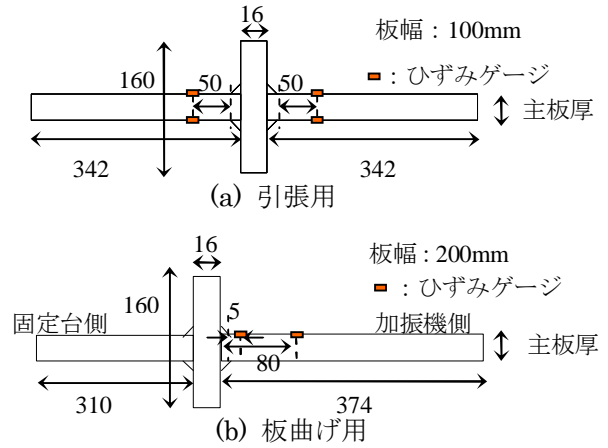


図-1 試験体寸法 [単位:mm]

#### 2. 試験体

本研究で用いた試験体の鋼種は SM400A である。試験体の寸法及びマクロ組織を図-1, 2 に示す。主板厚および溶接条件が異なる 3 シリーズの試験体を用いて、引張および板曲げによる疲労試験を行った。A シリーズは主板厚が 8mm, B, C シリーズは主板厚が 16mm である。B, C シリーズは溶接速度が異なっており、それぞれ 0.8m/min, 1.0m/min となっている。図-3 に止端形状を示している。この図から、シリーズ間で止端形状の違いはないものの、ハイブリッド溶接は、止端角が 45~55° 程度であるアークに比べ、止端角がやや大きい傾向にあることがわかる。

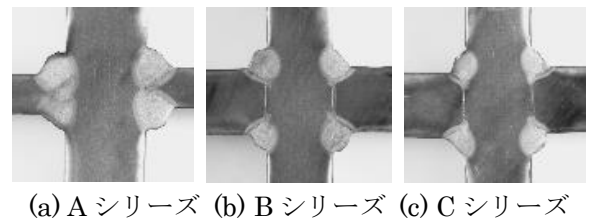


図-2 マクロ組織

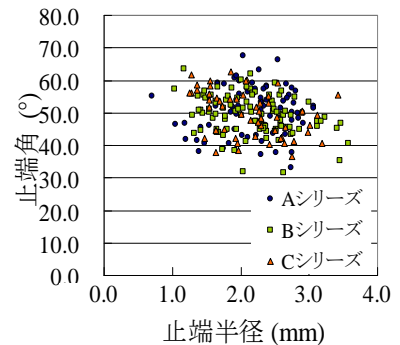


図-3 止端形状

#### 3. 残留応力

図-4 に切断法を用いて計測した、溶接止端に沿った溶接線直角方向の残留応力を示す。この図からわかるように、試験体幅方向中央付近で高い引張の残留応力が生じており、板厚が大きい B シリーズ、C シリーズは A シリーズに比べて残留応力が大きい。また、残留応力は最大でも 200MPa 程度と降伏点より低く、ハイブリッド溶接による残留応力はアーク溶接と同程度か若干低くなっている。

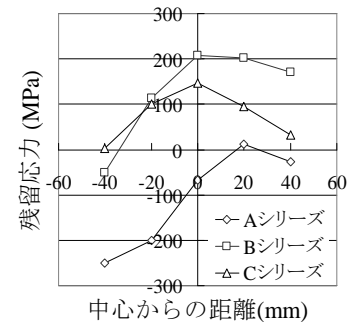


図-4 残留応力

#### 4. 試験方法

引張疲労試験では試験体の両端をチャックに固定し、荷重制御として载荷

キーワード レーザ・アークハイブリッド溶接, 溶接変形, 疲労強度, 止端形状, 残留応力

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社会基盤工学専攻 TEL: 052-789-4620

振動数 5~7Hz で試験を行った。応力範囲は、止端から長手方向に 50mm 位置における主板両面の実測ひずみから求め、80~200MPa の間で変化させた。応力比は全ての試験体で  $R=0$  とし、破断した時点で試験終了とした。また、1000 万回载荷後にき裂が発見されない場合には、応力範囲を高くして再度試験を行った。

板曲げ疲労試験には図-5 に示すような板曲げ振動試験機を用いた。応力範囲は止端から長手方向に 5mm 位置と 80mm 位置の実測ひずみから、き裂発生位置まで外挿し、応力比  $R=0$  とした。引張疲労試験と同様に、1000 万回载荷後に、き裂が発見されない場合には、応力範囲を高くして再度試験を行った。き裂が溶接線方向全てに達した繰返し数を疲労寿命としている。

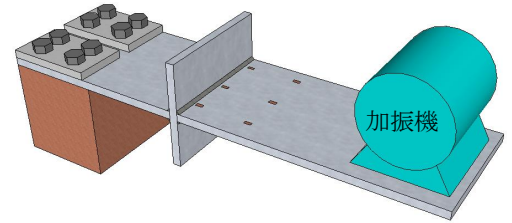


図-5 板曲げ振動疲労試験

5. 試験結果

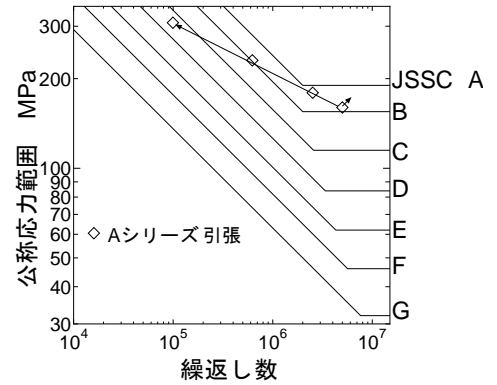
引張疲労試験の結果を図-6 に示す。いくつかの試験体では左右の主板の目違いによって板曲げ応力が生じたため、実測ひずみを止端まで直線外挿して求めた応力で整理している。図-6 (a)より、止端破壊では溶け込み量の大きかった A シリーズの疲労強度が高いことがわかる。ルート破壊では溶接速度が異なる B, C シリーズの試験結果には大きな違いが見られず、入熱量が疲労強度に与える影響は小さい。A シリーズは最低でも D 等級程度の疲労強度であり、JSSC で示されたアーク溶接の E 等級(荷重伝達型十字溶接継手の完全溶込み溶接、非仕上げの継手)を満たしている。図-6(b)はルート破壊した試験体の結果であり、荷重範囲を実のど断面積 (のど厚: (脚長+溶込み深さ)/ $\sqrt{2}$ ) で除した応力範囲で整理している。ルート破壊した B, C シリーズは最低でも F 等級程度の疲労強度であり、JSSC で示されたアーク溶接の H 等級 (荷重伝達型十字継手のルート破壊、のど断面) を満たしている。

板曲げ引張疲労試験の結果を図-7 に示す。板曲げ試験では、全て止端破壊となっており、この図では板曲げを受ける場合の応力範囲の補正として止端位置の実応力範囲に 4/5 を乗じている。A シリーズは引張試験と同様に疲労強度が高く、C 等級程度であり、溶接速度の異なる B, C シリーズは E 等級を下限值として分布している。これらの結果は JSSC のアーク溶接に対する疲労強度(完全溶込みでは E 等級、部分溶込みでは F 等級) を満たしている。

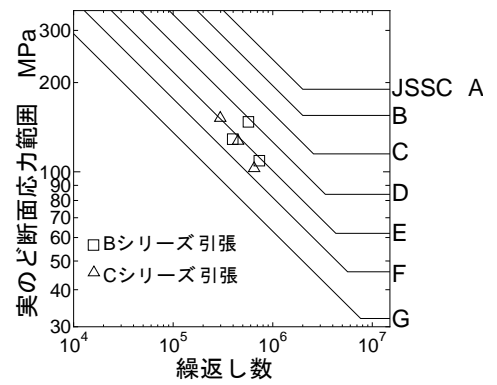
6. まとめ

本研究ではハイブリッド溶接を用いた荷重伝達型十字継手に対し、引張および曲げの疲労試験を行い、その疲労強度を明らかにした。結果、ハイブリッド溶接を用いた荷重伝達型十字継手は JSSC で示されているアーク溶接の疲労強度を全て満たしていることがわかった。

参考文献 1) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 丸善, 2002  
 2) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993.4



(a) 止端破壊



(b) ルート破壊

図-6 引張疲労試験結果

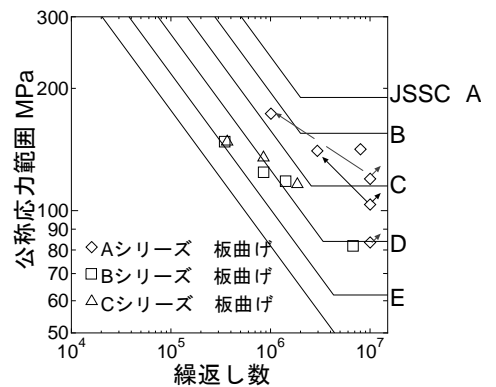


図-7 板曲げ疲労試験結果