

裏波を有する突合せ溶接継手の疲労強度

(一社)日本橋梁建設協会 正会員 ○高田 嘉秀 法政大学 フェロー 森 猛
 (一社)日本橋梁建設協会 正会員 村上 貴紀 綿谷 剛 津山 忠久 谷貝 誠 萩原 篤 田中 裕

1. はじめに：鋼床版デッキプレートなどの現場突合せ溶接継手では、裏当て材を用いて裏波を形成する片面溶接法が用いられることが多い。両面突合せ溶接継手については数多くの疲労試験データがあり、それらに基づいて日本鋼構造協会の疲労設計指針¹⁾(JSSC 指針)では疲労強度等級を D 等級と規定している。裏波を有する片面溶接継手に対しては、両面突合せ溶接継手の疲労試験結果から類推して、裏波形状が良好な場合には強度等級を D 等級としているが、裏波を有する片面溶接継手の疲労試験データは少なく、また良好な裏波形状の定義もなされていない。

本研究では、数タイプの裏波形状を有する片面溶接継手の試験体を製作し、軸引張荷重と板曲げ荷重による疲労試験により裏波溶接継手の疲労強度等級と疲労強度に対する裏波形状の影響について検討する。

2. 試験体：試験体の寸法・形状を図-1に示す。鋼種は溶接構造用圧延鋼材 SM490YA である。裏波形状を変えるために、溶接方法はサブマージアーク溶接と炭酸ガスシールドアーク溶接とし、ルートギャップは一般的に適用されている許容範囲を参考に比較的狭い場合と広い場合にしている。各試験体の開先形状と溶接方法を表-1に示す。

各試験体溶接部の断面マクロを写真-1に示す。裏波形状が疲労強度に及ぼす影響を確認するため、ルートギャップが狭い場合は、あえて裏波の止端部の形状が悪い試験体(AS01, BS01 試験体)と裏波の高さが大きい試験体(AC04, BS04 試験体)を製作している。ルートギャップが広い場合は、一般に施工されている裏波が滑らかな試験体(AS10, AC12, BS10 試験体)としている。

3. 疲労試験：軸引張荷重下での疲労試験は、動的能力 500kN の電気油圧式サーボ試験機を使用し、下限荷重を 10kN 一定として行った。軸引張応力下で実施した疲労試験結果を図-2に示す。4 種類の試験体の疲労き裂の発生は、AS01, AS10 試験体では裏波の止端部、AC04, AC12 試験体では表面余盛りの止端部からであった。試験体には溶接による角変形が生じていた。そのため、疲労き裂が発生した面のひずみ範囲から求めた応力範囲 $\Delta\sigma$ で整理し、その結果を図-3に示す。すべてのデータが JSSC 指針の D 等級を満足する結果であった。

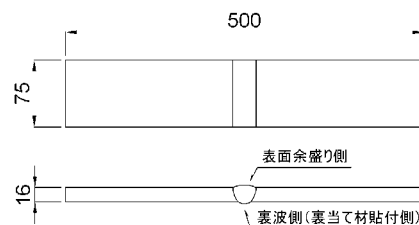


図-1 試験体の形状・寸法

表-1 各試験体の溶接条件および溶接方法

	試験体No.	開先角度 θ (°)	ルートギャップ G (mm)	溶接方法	開先形状
軸 引 張 荷 重	AS01	45	1	サブマージ アーク溶接	
	AS10	45	10		
	AC04	30	4	炭酸ガスシールド アーク溶接	
	AC12	30	12		
板 曲 げ 荷 重	BS01	45	1	サブマージ アーク溶接	
	BS10	45	10		
	BC04	30	4	炭酸ガスシールド アーク溶接	

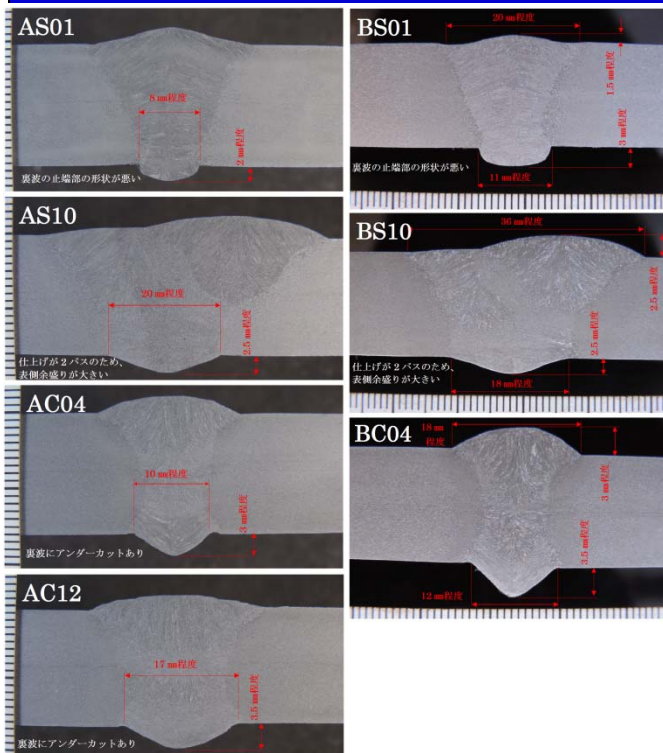


写真-1 各試験体の断面マクロ

キーワード：鋼床版，片面溶接，疲労強度

連絡先：〒105-000 東京都港区西新橋 1-6-11 西新橋光和ビル 9F (一社)日本橋梁建設協会 TEL 03-3507-5225

板曲げ荷重下での疲労試験は、動的能力100kNの電気油圧式サーボ試験機を使用し、下限荷重を1kN一定で4点曲げ荷重下にて実施した。曲げ荷重の方向は、裏波側に引張り応力が生じる方向を正曲げ、表面余盛り側に引張り応力が生じる方向を負曲げと呼ぶ。曲げ応力下での疲労試験結果を図-4に示す。JSSC 指針では、板曲げを受ける場合の疲労強度は軸力を受ける場合の1.25倍とされている。これを考慮した疲労強度は、すべてJSSC 指針のD等級を満足している。正曲げ試験では、BS01試験体の疲労強度が他の試験体に比べて低くなっている。これは、BS01試験体の裏波溶接の止端形状が写真-1に示したように鋭いためと考えられる。

4. 応力解析：溶接形状が疲労強度に及ぼす影響を検討する目的で、疲労試験で用いた試験体を対象に3次元弾性有限要素解析を行った。解析モデルは表-2、図-5で示す各試験体計測結果の平均形状に基づいて作成した。解析から求めた各試験体溶接止端部の応力集中係数と疲労試験での亀裂発生位置を表-3に示す。軸引張では、疲労き裂が発生した位置と応力集中係数の高い止端部とが一致しないケースがある。板曲げについては、応力集中係数が高い試験体ほど疲労強度が低いことから、応力集中係数から破壊起点を説明できる。

上記の他、表面余盛り及び裏波の幅と高さを変化させた3タイプの溶接部モデルで解析を行った。止端部の曲率半径は1.0mm、溶接形状は反楕円形とした。表面余盛り幅が20mmで高さ3mm、裏波の高さが3mmの溶接部モデル(図-6)で、裏波の幅を変化させたときの応力集中係数を図-7に示す。裏波側に着目すると、裏波の幅が表面余盛り幅に近づくにつれて裏波の止端部の応力集中係数が高くなっており、裏波の幅が小さい方が疲労強度は高くなると言える。ただし、裏波の止端部の形状が滑らかであることが前提である。

参考文献:1)鋼構造物の疲労設計指針・同解説(日本鋼構造協会 2012年改訂版)

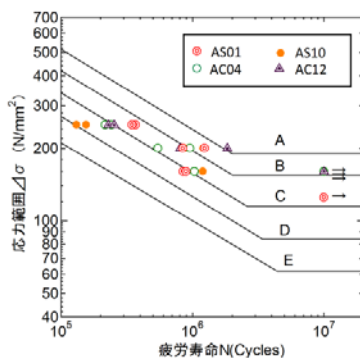


図-2 軸引張荷重 疲労試験結果

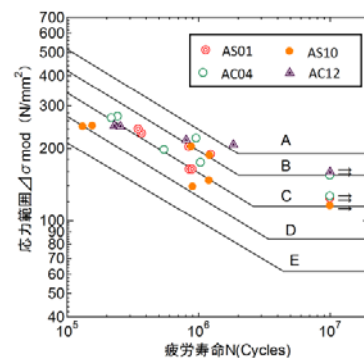
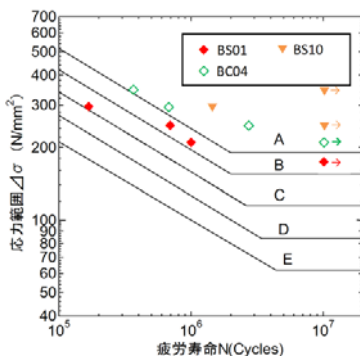
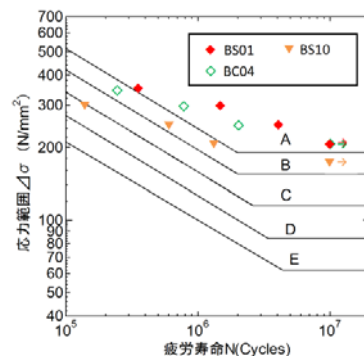


図-3 板曲げを考慮して整理した疲労試験結果



(a) 正曲げ



(b) 負曲げ

図-4 板曲げ荷重 疲労試験結果

表-2 各解析モデルの溶接寸法

試験体	位置	溶接幅 b(mm)	溶接高さ h(mm)	開き角度 θ(°)	曲率半径 R(mm)
AS01	表面L	19.8	1.5	170	7.6
	表面R	—	—	170	4.6
	裏面L	8.2	2.3	105	1.9
	裏面R	—	—	105	1.8
AS10	表面L	40.0	3.0	170	1.3
	表面R	—	—	150	0.7
	裏面L	25.0	2.0	160	2.4
	裏面R	—	—	150	1.4
AC04	表面L	16.0	2.0	150	2.6
	表面R	—	—	150	1.7
	裏面L	10.0	3.0	135	1.2
	裏面R	—	—	135	1.4
AC12	表面L	23.4	2.0	155	1.7
	表面R	—	—	155	1.8
	裏面L	15.2	3.0	150	2.1
	裏面R	—	—	150	2.1
BS01	表面L	21.0	1.6	165	9.5
	表面R	—	—	165	9.5
	裏面L	9.7	2.6	100	0.3
	裏面R	—	—	100	0.3
BS10	表面L	37.0	3.6	165	7.8
	表面R	—	—	150	1.0
	裏面L	16.7	2.2	135	3.0
	裏面R	—	—	165	8.0
BC04	表面L	17.5	3.0	150	4.0
	表面R	—	—	150	4.0
	裏面L	12.5	3.5	140	2.0
	裏面R	—	—	140	1.5

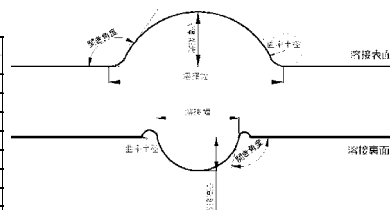


図-5 試験体の計測項目

表-3 解析結果と疲労試験き裂発生位置

試験体	応力集中係数の最大		疲労試験
	表面	裏面	き裂発生位置
AS01	1.37	1.98	裏面
AS10	2.52	1.88	裏面
AC04	1.86	2.45	表面
AC12	1.98	1.83	表面
BS01	正曲げ	—	2.67
	負曲げ	1.26	—
BS10	正曲げ	—	1.32
	負曲げ	2.53	—
BC04	正曲げ	—	1.86
	負曲げ	1.57	—

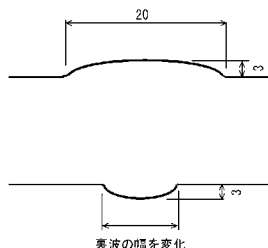


図-6 溶接モデルの例

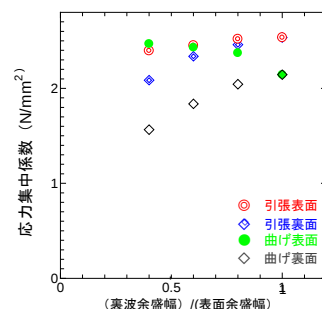


図-7 余盛り幅と応力集中係数の関係