

I-100 橋梁部材の疲労強度と非破壊検査による亀裂検出精度 — 第1報 SM58Q 極厚溶接継手の疲労強度 —

日本鋼管(株) 正員 岩崎 紀夫 日本鋼管(株) 加藤 昭彦
日本鋼管(株) 正員 渡辺 信夫 東京工業大学 正員 三木 千寿

1. はじめに

近年、溶接継手の疲労強度の問題として、使用板厚の増大とともに疲労強度は低下することが、欧州の海洋構造物の疲労研究から提起され、この板厚効果が極厚材の溶接による残留応力効果とともに国内外の大きな話題となっている。橋梁をはじめとする大型溶接構造物の設計、施工面では、これらの定量化が急がれる状況にある。本報では、板厚 75 mm の SM58Q 極厚溶接継手の疲労強度を、溶接残留応力の影響の観点から検討した。

2. 実験概要

Fig. 1 に示す 4 シリーズの試験片について疲労試験を実施した。シリーズ I は、板厚 75 mm の主板 (SM58Q) に板厚 14 mm のリブ板 (SM41A) が隅肉溶接 (MAW) された試験片である。シリーズ II は、ボックス断面梁のかど溶接を想定し、主板に縦シーム溶接 (X 両削, SAW) を施し、余盛削除後リブ板を隅肉溶接した試験片である。シリーズ I, II の試験片から、縦シーム溶接による残留応力の有無が隅肉溶接継手の疲労強度に及ぼす影響を検討した。シリーズ III は、主板の縦シーム溶接による残留応力場を疲労亀裂が進展する場合の挙動を明らかにするための試験片であり、縦シーム溶接線上に深さ $Q = 5$ mm、長さ $2b = 10$ mm、幅 0.2 mm の半円状人工切欠を設けている。シリーズ IV は、I ~ III の結果を考察する上で基礎データとなる母材および溶接金属の疲労亀裂伝播特性を調べるための 3 点曲げ試験片である。

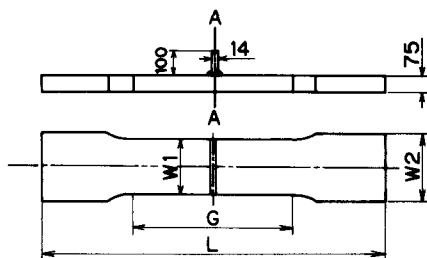
疲労試験は、シリーズ I ~ III の広幅試験片 ($W = 250$ mm) および狭幅試験片 ($W = 125$ mm) に対して、それぞれ 400 トン、200 トン油圧サーボ疲労試験機により、応力比 $R = 0$ の軸力繰返し荷重下で実施した。これらの試験では、疲労破面上にビーチマークを付与する操作を試験途中に行なった。シリーズ IV の 3 点曲げ試験片に対しては、20 トン油圧サーボ疲労試験機により、 $R = 0$ 、 $Q/8$ の 2 条件下で疲労試験を実施した。亀裂長さの計測には、直流電位差法を採用した。

3. 結果と考察

シリーズ I, II の隅肉溶接継手の疲労試験結果を Fig. 2 に示す。縦シーム溶接の有無にかかわらず両者の疲労強度に差のない結果が得られている。また、Fig. 2 には、本四公団の疲労設計曲線 (カテゴリー C) を併記したが、本曲線は、板厚 75 mm の極厚隅肉溶接継手に対しても、また今までデータ数の少なかった低応力長寿命域においても安全側に位置することが確認された。

シリーズ IV の実験から得られた母材および溶接金属の疲労亀裂伝播特性を Fig. 3 に示す。母材の L 方向および Z 方向の特性は、ほ

Series I, II & III



A-A Section		
Series I	Series II	Series III

	L	G	W1	W2
Large	1500	700	250	300
Small	650	300	125	138

unit: mm

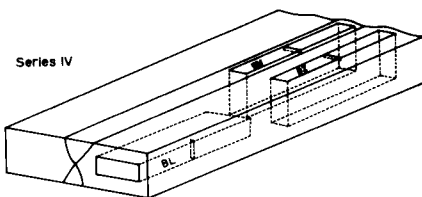


Fig. 1 疲労試験片形状

ほぼ同等の結果が得られている。また、溶接金属の伝播特性も、試験片に機械加工された時点で残留応力はほとんど解放されたと考えられ、母材と同等の挙動を示している。一方、縦シーム溶接による残留応力が付与されているシリーズⅢの表面切欠からの亀裂伝播は、Fig. 4に示すように、 $R=0$ の条件下で実験したにもかかわらず、母材、溶接金属の $R=0$ の条件下での伝播から大きく加速され、ほぼ $R=0.8$ に相当する挙動となっている。

以上、シリーズⅢ、Ⅳの結果より、シリーズⅠ、Ⅱの疲労強度に差のないことは、隅肉溶接により充分大きな残留応力が趾端部表面に付与され、縦シーム溶接による残留応力との重畳効果は疲労強度にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

そこで、Fig. 3に示した $R=0.8$ の場合の $da/dN \sim \Delta K$ 関係、

$$da/dN = 4.05 \times 10^{-11} (\Delta K^{3.32} - 16^{3.32})$$

より、シリーズⅠ、Ⅱの隅肉溶接継手の疲労寿命推定を試みた。隅肉継手趾端部の初期欠陥として、深さ $a_0 = 0.2$ mm、長さ $2b = 1$ mm および 2 mm の半楕円表面亀裂を仮定した。半楕円亀裂の板表面と最深部の K 値は、Newmanらの補正係数、Gurneyのリア板の応力集中の補正係数を考慮して決定した。疲労寿命の計算は、1000サイクルごとに亀裂長さ、深さを求めることにより、亀裂の形状変化を考慮して行なった。

推定寿命と実測寿命の比較をFig. 5に示す。上記の浅くて長い初期亀裂を想定し、 $R=0.8$ の亀裂伝播データを用いることにより、隅肉溶接継手の疲労寿命は予測可能と考えられる。

4. まとめ

(1) 本四公団の疲労設計曲線は、板厚 75 mm の極厚隅肉溶接継手に対しても、また、低応力長寿命域でも安全側に位置することが確認された。

(2) 隅肉溶接継手では、隅肉溶接による趾端部表面の残留応力が疲労強度に対して支配的影響を及ぼし、主板の縦シーム溶接による残留応力との重畳効果は、疲労強度にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

(3) 溶接残留応力下での疲労亀裂伝播挙動は、母材の $R=0.8$ 程度にまで加速され、隅肉溶接継手の疲労寿命は、この高応力比の亀裂伝播データと浅くて長い初期亀裂を想定することにより推定できる。

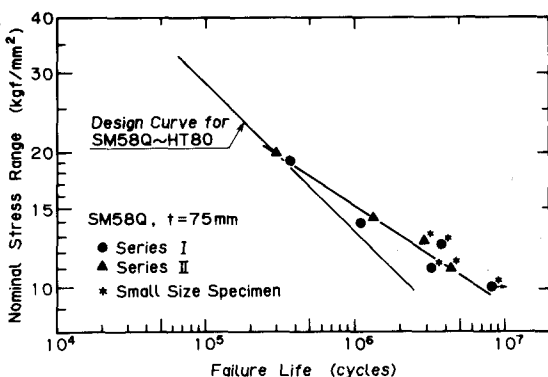


Fig. 2 極厚隅肉溶接継手の疲労試験結果

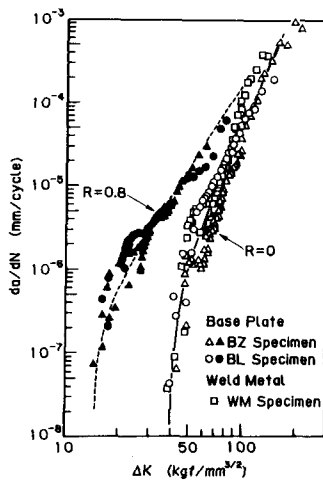


Fig. 3 SM58Q 母材、溶接金属の疲労亀裂伝播特性

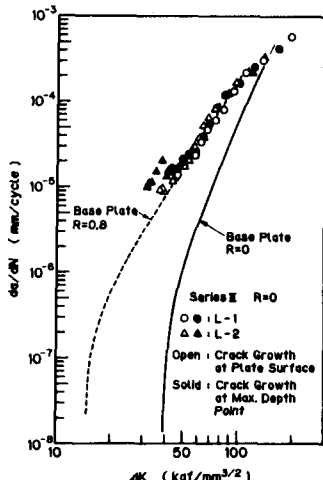


Fig. 4 溶接残留応力場での疲労亀裂伝播挙動

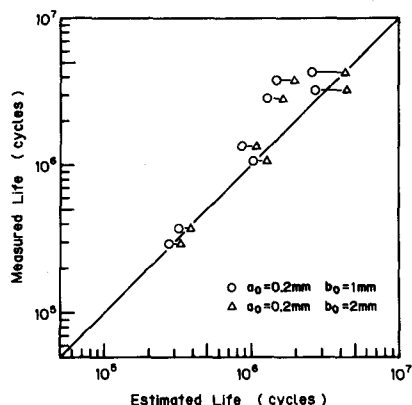


Fig. 5 隅肉溶接継手の実測疲労寿命と推定寿命の比較