

構造ホットスポット応力疲労評価法の鋼床版構造への適用に関する一考察

新日鐵住金(株) 正会員 ○横関 耕一, 富永 知徳
 東京都市大学 フェロー 三木 千壽, 正会員 白旗 弘実

1. はじめに

鋼床版構造には疲労き裂発生が多く, これを解決するため FEA を用いて疲労耐久性の高い鋼床版構造を探索している. 鋼床版の様に複雑な構造の疲労寿命を予測する場合には構造ホットスポット応力 (SHSS) が有用となる. SHSS は図 1 に示す概念図の様に溶接部近傍での応力集中のうち継手形状による部分を算出するものである. SHSS を用いた場合, 異なる継手を共通の設計曲線によって評価できる場合が多く, JSSC 指針¹⁾ではE等級を適用可能としている.

鋼床版は比較的薄い鋼板から成り, かつ板の曲げが支配的となって応力が発生する場合が多い. これに対し疲労強度は板厚(t)や曲げの影響を受けることが既往の検討からわかっている. SHSS 使用時にも $t \geq 25\text{mm}$ の場合については発生応力の $(t/25)^{0.25}$ 倍による板厚考慮が提案されているが, $t < 25\text{mm}$ の場合についても板厚影響がある. また曲げ応力下では膜応力下に比して疲労強度が増加することが知られ, JSSC 指針では曲げ応力低減係数として 0.8 が提案されている. しかしながら SHSS を用いた場合の検討は不十分と考えられる.

以上から, SHSS を用い, 鋼床版を対象として板厚および曲げの影響を考慮した疲労性能評価法を検討することを目的とした.

2. 疲労データの作成

既往検討および本研究を含む一連の鋼床版に関する検討から疲労試験結果, SHSS 算出結果を収集した(表 1). 既往検討において SHSS を算出していない場合は, 本研究において再現 FEA を実施した. 十字継手試験体は 2 次元ソリッド要素, 面外ガセット試験体は 3 次元ソリッド要素, その他の試験体は 3 次元シェル要素を用いてモデル化し, 溶接部近傍のメッシュサイズは $0.2t$ 以下となるよう制御した. SHSS の算出法は IIW 指針²⁾に則り, Type(A), (C) 止端の場合は $0.4t$ ~ $1.0t$ 2 点外挿, Type(B)止端の場

合は 4 ~ 8 ~ 12mm 3 点外挿を用いた. Type(A)~(C)止端は図 1 中に示した溶接止端ディテールを意味する.

3. ホットスポット応力による疲労試験結果整理

図 2 に Type(A)溶接止端でき裂が発生した試験結果の SHSS による整理結果を示した.

図 3 には, 面外ガセット, 十字継手疲労試験の 200 万回疲労強度と板厚との関係を整理した. いずれの継手形状, 荷重モードでも 200 万回疲労強度は板厚の n 乗と相関が見られ, n は 0.19 ~ 0.36 であった.

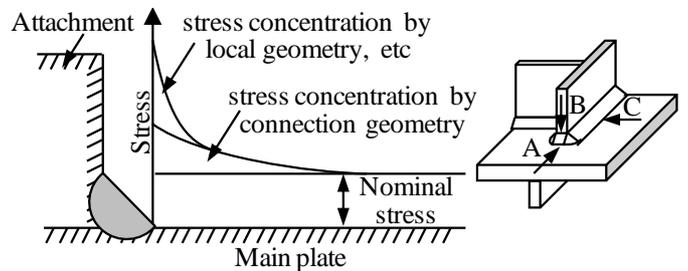


図 1 ホットスポット応力の概要

表 1 疲労データ (1) 継手疲労試験

出典	止端	試験体	t [mm]	σ_{hb}/σ_h ※1	SHSS ※2	Nf		
3	A	面外ガセット	10	0	FEA	破断		
4			10	0	EXP	破断		
5			12/17/30	0/1/0	FEA	破断		
6			12/12	0/1	FEA	破断		
7			12/16	0	FEA	破断		
8			20/20	1	FEA	深さ $0.75t$		
9			25/75/75	1	FEA	破断		
10			C	荷重伝達十字	9/20/40	0	FEA	破断
11					13	0	FEA	破断
12	9/15/24 / 34/50	1			FEA	破断		
13	B	スカラップ	9	0	FEA	表面 20mm		
14			12	0	FEA	破断		
15			垂直補剛材	14	0	FEA	表面 10mm	
8			面外ガセット	4	0	FEA	記載なし	

(2) 構造疲労試験

出典	止端	試験体	t	σ_{hb}/σ_h	SHSS	Nf
16	A	角型ブレース	22	※3	EXP	面材破断
本研究		鋼床版	6/12	0.85 ~ 1.00	FEA	母材進入
	C	ブラケット	10	※3	FEA	表面 10mm
17	B	鋼床版	9	0	EXP	記載なし
18			9	0	FEA	表面 14mm
本研究			9	0	FEA	母材進入

※1 SHSS に占める曲げ応力割合, ※2 FEA または実験(EXP)から算出, 斜体は本研究で再現解析実施, ※3 不明だが 0 として取扱った

キーワード 鋼床版, U リブ, 溶接, 疲労, FEM, 構造ホットスポットストレス
 連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1, Tell:0439-80-3088

図 4には SHSS を $(t/25)^{0.25}$ 倍したうえで、面外ガセット、十字継手疲労試験結果の分布下限線（平均一標準偏差の2倍）を描いた。図中には各下限線の200万回強度も示した。膜応力下での200万回強度はいずれの継ぎ手でも JSSC-E 等級を満たした。また曲げ応力下では比較的高疲労強度であり、面外ガセット、十字継手の膜応力下200万回強度は曲げ応力下のそれに比して、0.73, 0.57倍となった。

図 5に Type(A)溶接止端でき裂が発生した試験結果を次式の SHSS'によって整理したものを示した。

$$SHSS'=(t/25)^{0.25} \times (SHSS_{膜} + 0.8 \times SHSS_{曲}) \dots (1)$$

添字の膜、曲、は膜応力成分、曲げ応力成分を示す。プロットの分布は JSSC-E 等級を満たし、かつ図 2に比して分布範囲が減少した。この傾向は Type(B), (C)の溶接止端き裂に対しても同様であった。

4. 考察

板厚増加は溶接止端の応力集中増加を起こすため、疲労強度が低下すると言われている。SHSS では板厚増加による応力集中を検知できないため、図 3の結果となったと考えられる。また $t < 25\text{mm}$ にも板厚影響があると考えられる。本検討では $n=0.19 \sim 0.36$ とばらついたが、既往の $t \geq 25\text{mm}$ に対する設計値である $n=0.25$ を $t < 25\text{mm}$ に対しても適用できる可能性がある。曲げ応力下では比較的高疲労強度となったが、今回の整理結果からは、曲げ応力を0.73倍としても安全側評価であり、JSSC 指針による0.8倍は安全側評価であると考えられる。

5. まとめ

式(1)によって板厚、曲げの影響を考慮し、様々な継手疲労試験、構造疲労試験の結果をSHSSによって整理した。その結果、全ての結果がJSSC-E等級を下限とした分布となった。以上から式(1)とJSSC-E等級を用いて鋼床版の疲労性能を評価できると考える。

参考文献：

- 1 日本鋼構造協会；鋼構造物の疲労設計指針・同解説，1993.
- 2 Hobbacher；IIW document, XIII-2460-13, 2013.
- 3 Niemi et al;Welding in the world, 39(2),1997.
- 4 Marquis et al;VTT Publication, (239), 1996.
- 5 三木ら；構造工学論文集, 38A, 1992.
- 6 荒木ら；法政大学大学院工学研究科紀要, 52, 2011.
- 7 穴見；学位論文, 東京工業大学, 2001.
- 8 Huther et al; Welding in the world, 41, 1998.
- 9 坂野ら；土木学会論文集, (766), 2004.
- 10 鎌倉ら；溶接学会誌, 48(12), 1979.
- 11 Maddox; Proc. ISOPE, 4, 2001.

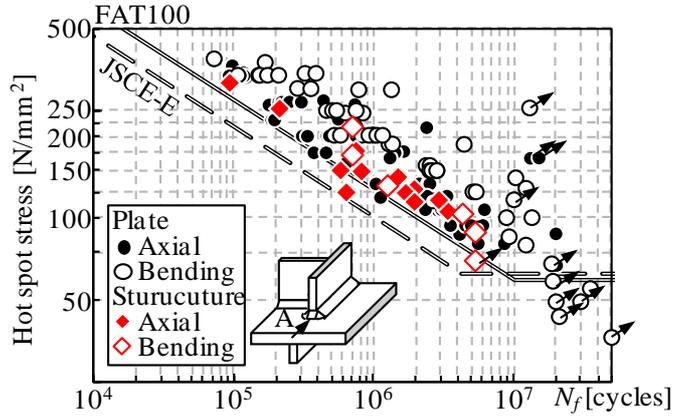


図 2 SHSS による試験結果整理

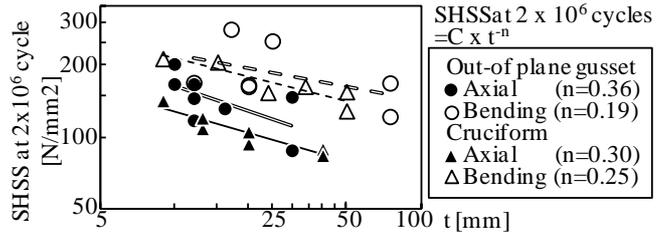


図 3 板厚と200万回強度の関係

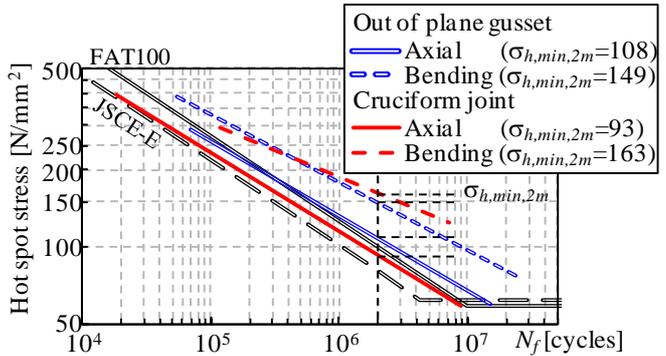


図 4 変形モードごとの試験結果(平均・2×標準偏差)

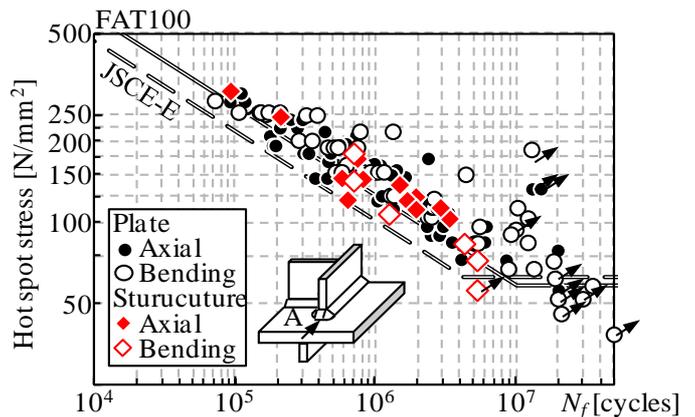


図 5 板厚、曲げを考慮した SHSS による試験結果整理

- 12 三木ら；構造工学論文集 38A, 1992.
- 13 三木ら；構造工学論文集, 39A, 1993.
- 14 Fricke et al; Int. J. Fatigue, 28(2), 2006.
- 15 山田ら；鋼構造論文集, 14(55), 2007.
- 16 八木ら；日本造船学会論文集, (169), 1991
- 17 藤井ら；土木学会年次学術講演, 47, 1992.
- 18 山岡ら；構造工学論文集 A, 56, 2010.