

## 面外ガセット継手におけるホットスポット応力に対する要素サイズの影響

長崎大学大学院 学生会員 倉本賢治 長崎大学工学部 正会員 中村聖三  
長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

### 1. はじめに

等級分類された構造詳細に対する設計 S-N 線図は、溶接継手による応力集中を無視した公称応力に基づいている。しかし、公称応力の定義が困難な継手等に対しては、ホットスポット応力(以下 HSS)に基づく疲労照査が行われることもある。一般に、構造不連続部や構造詳細の HSS は、ほとんどの場合 FEM 解析によって求められる。HSS はメッシュ分割に敏感であるため、ホットスポット近傍では要素サイズを十分に細かくし、ひずみゲージ計測に対して用いられる外挿点に対応した位置で応力と応力勾配が求められるようにしなければならない<sup>1)</sup>など、大まかなガイドラインはあるが、解析者の判断で要素サイズを決定し解析が行われているのが実情であると考えられる。そこで本研究では、面外ガセット継手を対象とし、要素サイズが HSS へ及ぼす影響について検討する。

### 2. 対象継手

対象継手は、溶接部が非仕上げの面外ガセット継手<sup>2)</sup>とした。図-1 にその形状・寸法、図-2 に解析モデルの要素分割例を示す。参考のため、本試験体に対する疲労試験結果(公称応力範囲と繰返し回数)を文献<sup>2)</sup>より引用して表-1 に示す。

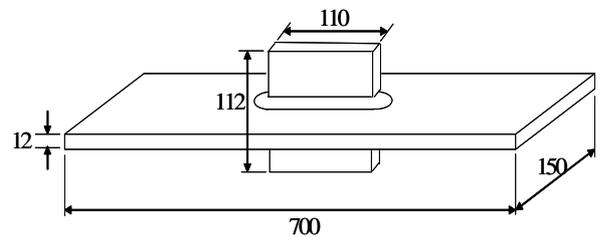


図-1 面外ガセット継手の形状と寸法

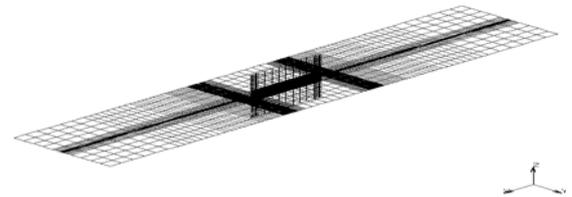


図-2 面外ガセット継手の要素分割図

### 3. 解析概要

本研究では、汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用いて線形弾性解析を実施した。解析モデルには 4 節点薄肉シェル要素 (No.139) を用いている。HSS を算定するための外挿点についてはいくつかの提案があるが、本研究では  $0.4t$ 、 $1.0t$  ( $t$ : 板厚) の 2 点とした。溶接部を考慮せずモデル化しているため、ガセット端部をホットスポットとし、その近傍の要素サイズは、事前の検討結果に基づき、外挿点において有効な結果が得られると考えられる(要素の縦横比をなるべく同じにする)4 ケース(表-2)とした。ホットスポット以外の要素サイズはホットスポット近傍の要素サイズから緩やかに拡大していくようにした。要素サイズ  $4.8\text{mm}$  は、外挿点の間に要素の分割を施していないものであり、想定される分割のうちもっとも粗いものであると考えている。対象継手の材料特性は、ヤング係数  $=206\text{kN/mm}^2$ 、ポアソン比  $=0.3$  としている。

### 4. 解析結果

HSS に及ぼす要素サイズの影響を表-3 および図-3 に示す。要素サイズが  $0.6\text{mm}$ 、 $1.2\text{mm}$  の場合では、各 HSS 範囲はほぼ同値であり、大きな差は見られない。しかし、要素サイズが  $2.4\text{mm}$ 、 $4.8\text{mm}$  の場合には、HSS 範囲がその他の要素サイズより大きな値を示すことが確認できる。また、最小値をとる要素サイズ  $0.6\text{mm}$  と、最大値をとる要素サイズ  $4.8\text{mm}$  での相違は  $15.6\%$  であり、

表-1 対象継手の疲労試験結果

対象継手	公称応力範囲 ( $\text{N/mm}^2$ )	繰返し回数 ( $\times 10^4$ )
面外ガセット 継手	115	179.0
	115	127.8
	145	41.5
	145	70.0
	180	21.0
	180	26.1

表-2 要素サイズと板厚比

	Case1	Case2	Case3	Case4
要素サイズ (mm)	0.6	1.2	2.4	4.8
板厚比	$t/20$	$t/10$	$t/5$	$t/2.5$

要素サイズによる影響は大きいと言える。

図 - 4 に止端部からの応力分布を示す。これは、疲労試験を行った際、公称応力範囲が  $115\text{N/mm}^2$  になるように設定されたものを解析した結果である。要素サイズ  $4.8\text{mm}$  を除くものにおいて、止端部から  $12.0\text{mm}$  ( $1.0t$ ) 以内では公称応力範囲の差が見られ、それより離れた位置ではほぼ等しい公称応力範囲が得られた。外挿点がホットスポットより  $4.8\text{mm}$ ,  $12.0\text{mm}$  の点であるので、HSS 範囲に影響が出ることが確認できる。また、要素サイズ  $4.8\text{mm}$  に関しては、他のサイズに比べ大きな値を示すことが確認できる。また、細かい要素の結果を見ると、急激な応力上昇は  $0.5t$  程度から始まっているが、粗い要素ではその変化の様子が再現できていない。外挿点の範囲以内にて急激な応力の上昇が見られるので、要素サイズが細かいほど正確な値が得られることが確認できる。

図 - 5 に今回算定した HSS 範囲を用いた場合の疲労試験結果<sup>2)</sup>を設計 S-N 線図と比較して示す。鋼構造物の疲労設計指針・同解説<sup>3)</sup>では、HSS を用いた場合における対象継手の設計 S-N 線図は E 等級と定められているが、同図より安全側の規定という意味では妥当であることが確認できる。しかし、要素サイズ  $0.6\text{mm}$  の算出値に基づけば、1 等級分の安全余裕を見込んでも、HSS を用いた場合の設計 S-N 線図として D 等級が適用可能であるという見方も可能である。

**5.まとめ**

本研究では、面外ガセット継手において解析時における要素の大きさによる HSS への影響について検討した。その結果、対象継手において要素サイズ  $1.2\text{mm}$  までの HSS 範囲はほぼ同値であり、それよりも要素サイズが大きくなると HSS 範囲は大きくなった。よってホットスポット近傍の要素サイズは  $t/10$  以内のものが妥当であると言える。しかし、本研究では面外ガセット継手のみの考察であるので、今後は、面内ガセット継手や十字溶接継手に関して同解析を行う予定である。また、溶接部を考慮したモデル作成やソリッド要素を用いたモデルでの解析検討も行う予定である。さらに、引張荷重下だけの解析のみならず、曲げ荷重下での要素の大きさによる HSS への影響についても解析検討を行う予定である。

**参考文献**

- 1) (社)溶接学会 溶接疲労強度研究委員会 訳：溶接構造の疲労設計，1999.4.
- 2) 森 猛，猪股俊哉，平山繁幸：グラインダ仕上げ方法が面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす影響，鋼構造論文集，第 11 巻，2004.6.
- 3) (社)日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993.4.

表 - 3 HSS 範囲

公称応力範囲 ( $\text{N/mm}^2$ )	HSS 範囲( $\text{N/mm}^2$ )			
	0.6mm	1.2mm	2.4mm	4.8mm
115	187	190	201	216
145	236	239	254	272
180	293	297	315	338

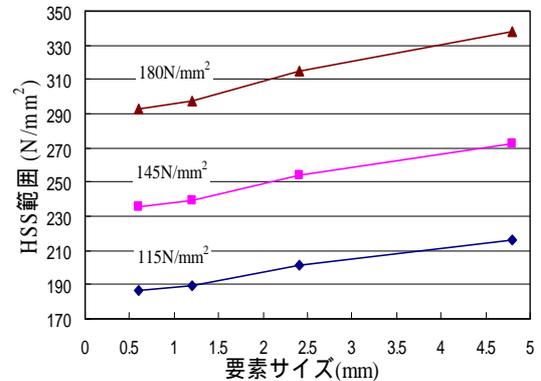


図 - 3 要素サイズの影響

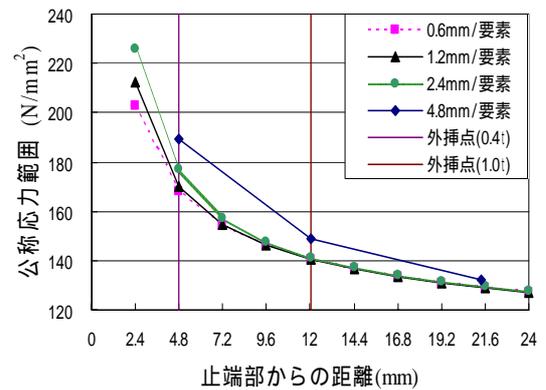


図 - 4 止端部からの応力分布

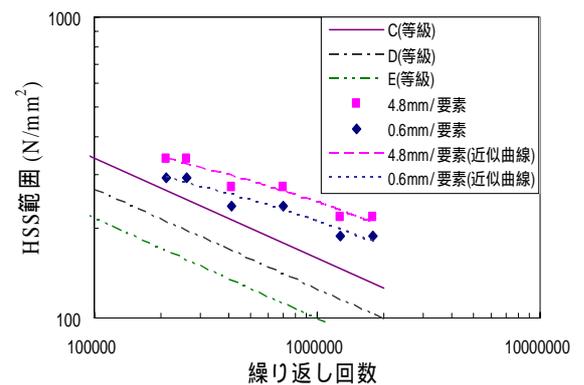


図 - 5 設計 S-N 線図との比較