

ブローホールから発生する疲労き裂進展解析

名古屋大学工学部 学生員 ○樋野 和俊
正 員 山田健太郎

1. まえがき

溶接継手の疲労強度は、避けられない溶接不整により著しく低下する場合がある。許容値を越えたような溶接欠陥の存在する継手の疲労に対する安全性は、溶接欠陥を生じない溶接法の観点及び、その疲労を含めた強度の観点から検討しなくてはならない。例えば本州四国連絡橋のトラス部材のルート部及び、内面隅肉溶接部に発生したブローホールからは、疲労き裂が生じるため、その許容寸法が実験及び破壊力学による解析から決められてきた。本研究では、トラス弦材の縦ビードに発生するブローホールからのき裂進展を、破壊力学により評価する。この場合、特にRの大きなガセットの形状に伴う応力集中の影響を考慮して、ブローホール部の応力レベルを決定し、ブローホールからのき裂進展状況を数値解析し、検討を行った。

2. ガセット部の応力解析

解析は、外面レ型・内面隅肉溶接部に発生したブローホールに及ぼす応力集中の影響を考慮するため、ガセットを有する箱断面の上フランジ及び下フランジで、COSMOS/M ((株)横河技術情報)を使用し、有限要素法を用いて応力解析を行った。図-1に、解析モデルを示す。解析モデルは、下フランジのみを考慮した1/4の平面モデルと1/8の立体モデルの2通りで行った。また、ガセットの形状は、上フランジ部でR= 180,300mm、下フランジ部でR=150,300mmである。さらに、製作にあたって必ずしも設計通りに、Rの形状が加工されるとは限らない。そこで形状の異なったガセットが製作されることを考えて、図-2に示すL=115,226mmのモデルについても応力計算を行った。

モデルの寸法は、平面モデルで長さ1600mm、幅410mm、板厚32mmにした。立体モデルでは、長さ1600mm、幅410mm、高さ410mm、板厚32mmである。荷重は、平面モデルでは、10kgf/mm²の引張応力を、立体モデルでは、曲げ応力を考慮して、上フランジ上端及び、下フランジ下端で10kgf/mm²が生じるように载荷した。

a) 平面モデル

b) 立体モデル

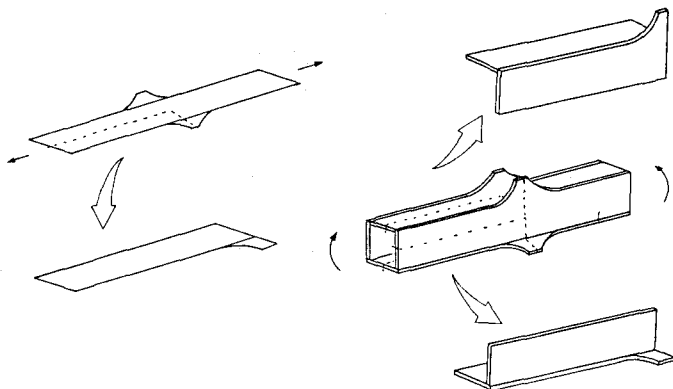


図1 有限要素解析モデル

3. 解析結果

図-3、図-4に、代表的なRの形状の応力集中の解析値を示した。図-3での応力値は、外面レ型溶接部の外部に着目して値をプロットしたものである。図-4は、外面レ型の溶接部内部に着目した応力値である。また表1に、外面レ型溶接部での各モデルについて、応力集中の最大値とその発生位置について示す。なおここでは、平面モデルは、溶接部外部の値しか記していない。

Rの形状が150,180,300mmのガセットを有する部材では、応力集中は、溶接外部でR端より約10度入ったところで最大値が

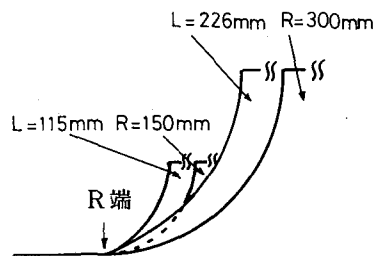


図-2 下フランジ、ガセットのRの形状

生じ、溶接内部ではR端で生じている。立体モデルでみると、上フランジの溶接外部でのR=180, 300mmの応力集中の値は、それぞれ1.32, 1.28であった。下フランジの溶接外部でのR=150, 300mmの応力集中の値は、1.20, 1.14であった。すなわち、溶接外部では、Rの形状により応力集中に差が生じていることがわかる。上フランジでは、R=300mmの場合に比べ、R=180mmでは約3%、下フランジでR=300mmの場合に比べ、R=150mmでは約8.3%増加する。溶接内部では、Rの形状による応力集中の差はほとんど生じない。溶接外部、内部とも約20度の所まで応力集中は、一般部より高い値を示し、それ以上になると、応力集中は減少していく傾向にある。R端の逆方向では、R端より約200mmまで応力集中の影響を受けていることがわかる。

平面モデルと立体モデルでは、最大応力の生じる位置には、さほど差は生じていないものの、平面モデルの方が全般に高い応力集中を示していることがわかる。これは、平面モデルが、下フランジのみであるのに対し、立体モデルでは、厚さを考慮し、また腹板も取り付けられたものであることから、応力が軽減されたものと思われる。よって、外面レ型溶接部の応力集中の値は、平面と立体では応力の対象とする位置が必ずしも一致するとは言い難いため、それらの点では立体モデルで応力を評価した方が有効であると思われる。

設計時のRと異なった形状、L=115, 226mmの場合の応力集中は、溶接外部で、それぞれ1.42, 1.36で、溶接内部で1.06, 1.04であった。溶接外部では、R=300mmに比べL=226mmは約20%増加し、R=150mmに比べL=115mmは、約18%増加した。溶接内部では、R=300mmに比べL=226mmは約4%増加し、R=150mmに比べL=115mmは、約2%増加した。従って、製作時におけるRの形状の不備は、応力集中の値に大きく影響することがわかる。

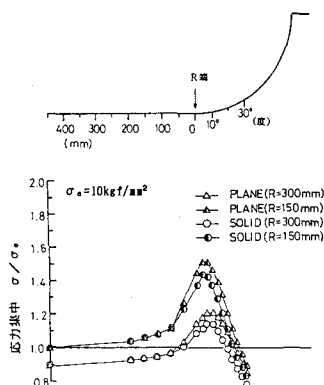


図-3 下フランジ、ガセット形状R=150mm及び、

4.あとがき R=300mmの外面レ型溶接部での応力集中

これらより、この応力集中の影響を、対象とする構造物に発生するブローホールに作用させる。そして、ブローホールを初期き裂と仮定することで、応力拡大係数を解析応力下で求める。その応力拡大係数の発生頻度を式に置き換え、その確率式より、モンテカルロシミュレーションを用い疲労き裂進展寿命を求め、そのばらつきについて検討を行う。

表-1 外面レ型溶接部での応力集中係数とその発生位置

上フランジ		σ_{max}/σ_0	発生位置
R=300mm	平面	解析値なし	
	外部 立体	1.28	ガセット方向へ9度入ったところ
	内部 立体	1.09	R端
R=180mm	平面	解析値なし	
	外部 立体	1.32	ガセット方向へ9度入ったところ
	内部 立体	1.09	R端
下フランジ		σ_{max}/σ_0	発生位置
R=300mm	平面	1.43	ガセット方向へ8度入ったところ
	外部 立体	1.14	ガセット方向へ9度入ったところ
	内部 立体	1.02	R端
L=226mm	平面	1.80	R端
	外部 立体	1.36	ガセット方向へ8度入ったところ
	内部 立体	1.06	R端
R=150mm	平面	1.50	ガセット方向へ8度入ったところ
	外部 立体	1.20	ガセット方向へ9度入ったところ
	内部 立体	1.02	R端
L=115mm	平面	解析値なし	
	外部 立体	1.42	R端
	内部 立体	1.04	ガセットと逆方向へ40mmのところ

σ_{max} : 最大応力
 σ_0 : 公称応力 ($\sigma_0 = 10 \text{ kgf/mm}^2$)

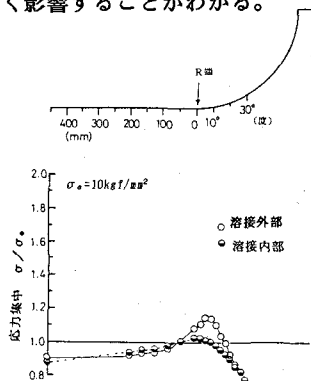


図-4 下フランジ、ガセット形状R=300mmの外面レ型溶接部の溶接外部と溶接内部での応力集中 (立体モデル)