面外曲げ下の疲労き裂進展挙動に関する一考察

名古屋大学	正会員	○舘石	和雄
名古屋大学	学生会員	土屋	啓佑
東京鉄骨橋梁	正会員	柳沼	安俊

**1.目的:** 面外曲げを受ける T 字溶接継手を対象として,き裂進展に 伴う残留応力の再配分を求めた.さらに,き裂進展挙動を把握するため に疲労試験を実施し,破壊力学による考察を加えた.

2.き裂進展経路の解析:き裂進展解析は,市販のき裂進展解析ソフト であるZencrackにより行った.解析モデルを図-1に示す.リブ厚を10mm, 溶接脚長を6mmとし,片側の溶接止端部に0.5mmの初期き裂を導入し た.主板の両端を固定し,リブに繰り返し載荷を行った.板厚や主板長 さを変えて行った3つの解析結果の例を図-2に示す.図は横軸に溶接止 端部からの水平方向の距離を,縦軸に板厚方向の距離をそれぞれ板厚で 無次元化したものをとっており,き裂進展経路を示している.解析ケー スによってき裂の進展経路に差が生じていることがわかる.

3.残留応力の再配分:本研究では,き裂の進展による残留応力の再配 分挙動を以下のようにして模擬した.き裂進展経路に沿って,き裂面上 の節点を二重に定義したモデルを作成する.初期(き裂がない状態)で は二重節点間を拘束しておき,この状態で熱弾塑性応力解析を実施し, 残留応力分布を求める.次に,所定のき裂長までき裂面上の拘束を解放 し,その際の応力分布を求める.その後き裂長を変化させながら上記の 作業を繰返し行い,残留応力の再配分を再現した.

Loading Initial crack Initial ₩ 0.5 ∕ 6-30 🗸  $\mathbf{\Lambda}$ 100-400 図-1 解析モデル (Unit:mm) 0.8 0.6 0.4 02 0 0 0.2 0.4 : Case1 0.6 ----- : Case2 : Case3

図-2 き裂進展経路の例

0.8

熱弾塑性解析においては,左右の溶接部に対し同時かつ瞬間的に溶接 に伴う熱量が投与されるものと仮定し,有効溶接入熱量を1,200J/mmとした.室温および鋼材の初期温度はと もに288Kとし,弾性係数,降伏応力,熱膨張係数,熱伝導率,比熱の温度依存性は鉄鋼便覧<sup>1)</sup>を参考に与え

た.単位体積重量は 7,860kg/mm<sup>3</sup>, ポアソン比は 0.3,熱放射率は 0.8,室温での降伏応力は 280MPa とした. 熱弾塑性応力解析により得られた初期残留応力分布の一例を図-3 に示す.図は,溶接止端部が存在する断面 における応力分布を表している.図-4 は図-2 に示した 3 つの解析ケースにおいて,き裂先端近傍におけるき





表-2 試験体形状および疲労試験条件

Case	L	t	W	Y.S.	U.S.	Stress	Stress
	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	range	ratio
						(MPa)	
1	180	12	40	350	531	70	0.41
						81*	0.32*
						120*	0.24*
2	270	22	140	436	575	80	0.087
						105*	0.061*
3	360	19	40	383	546	100	-1.2

## 図-5 試験体形状

裂面に直角な方向の残留応力とき裂長の関係を示したものである.全ての解析ケースにおいて,き裂の進展に伴い残留応力は次第に解放されていき,き裂が板厚の6割程度まで進展すると 残留応力がほぼ消失している.

4.疲労試験:T字溶接試験体に面外曲げを与えることにより 疲労試験を行った.試験体寸法及び試験条件は図-5 および表-2 に示すとおりである.すべてのケースにおいて疲労き裂は主板 側の溶接止端部から発生し,止端部に沿って進展するとともに, 板厚方向に進展した.Case1では応力範囲 70MPa で試験中,き 裂が板厚方向に 8.5mm 進展した時点でき裂が停留した.応力範 囲を 81MPa に変更して試験を再開したが,200万回載荷後もき 裂の進展がみられなかった.その後応力範囲を 120MPa に変更 したところ,き裂は再び進展しはじめ,破断に至った.Case2 においては応力範囲 80MPa で試験中き裂長 16mm にて停留した ため,応力範囲を 105MPa に上げたところ破断に至った.Case3 ではき裂長 29mm にて停留した.

5.有効応力拡大係数による考察:板厚方向にき裂が進展する 場合,板厚の6割程度で残留応力が消失することが明らかとなったことから,き裂進展挙動を考える際には,き裂の開閉口挙 動を考慮した有効応力拡大係数を用いる必要がある.ここでは 田中らにより提案された次式<sup>2)</sup>を用いて開口比Uを算出し,そ れにより有効応力拡大係数範囲 K<sub>eff</sub>を求めた.

 $U = \min\{1/(R_0 - R) - K_0 / \Delta K, 1\}$ 

ただし  $R_0=0.9$ ,  $K_0=4.0$  MPa $\sqrt{m}$ とした<sup>2)</sup>.図-6 にき裂長と  $K_{eff}$ の関係を示す.破線は試験で観察されたき裂の停留位置を示している.また図中には JSSC で示されている下限界応力拡大係数範囲  $K_{eff,th}$  (=2.9 MPa $\sqrt{m}$ )も示してある.すべてのケースに

<sup>\*</sup>き裂が停留後,200万回載荷した後に変更



図-6 き裂長と K<sub>eff</sub>の関係

おいて,き裂が進展するにつれて  $K_{eff}$  は減少する.  $K_{eff}$  が  $K_{eff,th}$  程度まで減少するき裂長さと実際のき裂 停留位置とはよく一致していることがわかる.また Case1, Case2 にて応力範囲を変更した際にみられたき裂 の再進展においても、応力範囲変更後には  $K_{eff}$  が 5MPa $\sqrt{m}$  程度まで増加しており、試験結果と一致している. **6.まとめ:** 板厚方向に進展する疲労き裂の場合,板厚の6割程度まで進展すると溶接残留応力はほぼ消失 する.そのため,き裂の進展に対してはき裂の開閉口の影響を考える必要があるが,有効応力拡大係数によっ て進展挙動を説明することが可能である.

参考文献 1) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼便覧, CD-ROM, 2002.

2) 日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993.

-230-