

I-A 148 薄板の板厚方向の温度差による拘束端からの剥離及びクラックの発生

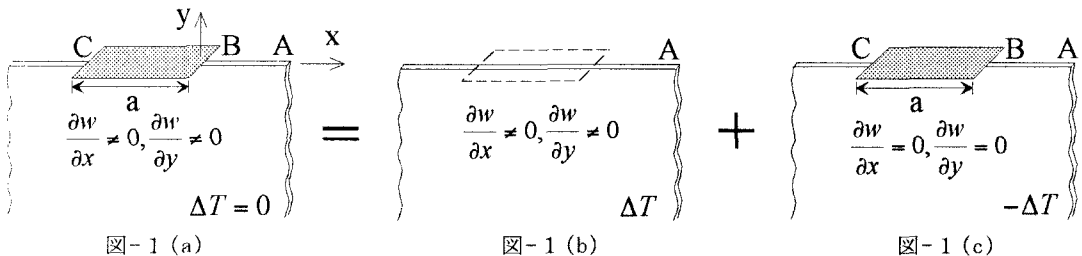
愛知県 正員 山田 正俊
名古屋工業大学 正員 長谷部 宜男

1. はじめに

板厚方向に温度差 ΔT が与えられたとき、その面外変形により変位拘束端部において応力集中が生じる。

図-1は、板厚方向に温度差がある状態で、板の一部分(固定部と呼ぶことにする)が固定された後に、温度差が除荷されたとき残留応力が生ずるモデルを示す。図-1 (a)では温度差はないが、変位拘束部において残留変形があり、残留応力が生ずる。これにより固定部の端部B,Cにおいて剥離やクラックの可能性がある。図-1 (b)の場合、熱による膨張のため変位は生じるが応力は生じない。しかし、図-1 (b)の境界上に固定部を与えた後、図-1 (c)のように温度変化(図では $-\Delta T$ の温度変化)があると応力が生ずる。温度が元に戻る($\Delta T=0$)と図-1 (a)となり、残留変形や残留応力が生じている。図-1 (a)の残留応力は図-1 (c)のそれと同じであり、応力状態は同一である。

ここでは、図-1 (c) (あるいは(a))の時の固定部端部に生ずる剥離やクラックについて考える。



2. 剥離先端のひずみエネルギー解放率

固定端部での応力集中により、図-2のように端部からの剥離の発生が考えられる。解析には、物理面のZ-平面を ζ -平面の単位円内に写像する写像関数 $z = \omega(\zeta)$ を用い、 ζ -平面で正則な複素応力関数 $\phi(\zeta)$ を求める。これにより、B点での剥離先端の応力の強さ $\tilde{\alpha}_0$ が求められる[1]。 $\tilde{\alpha}_0$ は剥離先端の応力特性を表す係数である。これにより、剥離先端のひずみエネルギー解放率 G_{deb} は次式で求められる。

$$G_{deb} = \frac{\pi\kappa}{2D(1+\nu)^2} \tilde{\alpha}_0 \bar{\tilde{\alpha}}_0 \quad (1)$$

D は曲げ剛さ、 ν はポアソン比である。図-2のように、固定端部から剥離が発生した場合の無次元化したひずみエネルギー解放率を図-4に示す。板厚 h 、熱膨張係数 τ 、固定部の長さ a 、剥離の長さ b とする。

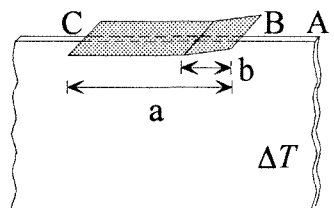


図-2

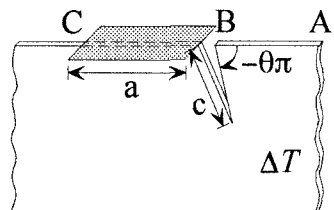


図-3

3. クラック先端のひずみエネルギー解放率

図-3のように、固定端部からクラックが発生した場合を考える。このとき、クラック先端での応力拡大係数 k_B 、 k_S は、次式で与えられる[2]。

$$K \equiv k_B - ik_S = -2D(1+\nu)\exp\left(\frac{i\theta}{2}\pi\right) \frac{\phi'(\xi_0)}{\sqrt{\omega''(\xi_0)}} \quad (2)$$

ξ_0 は ξ -平面上でのクラック先端の座標を表す。これを用いて、クラック先端でのひずみエネルギー解放率 G_{cr} は次式で表される。

$$G_{cr} = \frac{\pi K}{D(1+\nu)^2} K \bar{K} \quad (3)$$

このときのクラック先端のひずみエネルギー解放率を図-5に示す。クラック長さを c とする。クラック発生直後を考え、 $c/a=0.001$ とした。

3. 解析および結果

図-4より、剥離先端のひずみエネルギー解放率の、ポアソン比 ν による影響は小さいといえる。また、 b/a の増加とともに G_{deb} 値は零に減少している。よって、剥離が発生及び進展しても途中で進展が止まり、完全に切断されることはない。

図-5より、クラック先端のひずみエネルギー解放率は、クラックのなす角 $\theta\pi$ の増加に伴い、 G_{cr} 値も増加している。ポアソン比 ν によって差はあるが、 $\theta\pi=140\sim 160^\circ$ の範囲で最大となっており、この角度 $\theta\pi$ の方向に最もクラックが発生しやすいといえる。

4. まとめ

境界の一部が剛に変位拘束された薄板に、板厚方向に温度差 ΔT が与えられた時の剥離やクラックの発生について考えた。図-1の状態は温度 ΔT を受けて、境界上のBC部分を補修等により補強した後温度 $-\Delta T$ を受け $\Delta T=0$ の温度に戻ったときのモデルでもある。

剥離先端及びクラック先端での応力特性値として、ひずみエネルギー解放率 G_{deb} 及び G_{cr} を示し、その破壊に関して考察した。

図-4及び5に示されるひずみエネルギー解放率の最大値より大きく破壊靱性値を選べば、剥離やクラックは生じない。

[参考文献]

- [1] 三輪昌弘, 長谷部宣男, 中島将貴, 中村卓次, “曲げ・ねじりを受ける薄板の変位拘束端に生ずるクラックと剥離の分岐問題”, 土木学会論文集N0.525/I-33(1995.10)
- [2] N.Hasebe and S.Inohara, “Stress Analysis of a Semi-Infinite Plate with an Oblique Edge Crack”, Ingenieur-Archiv 49(1980)

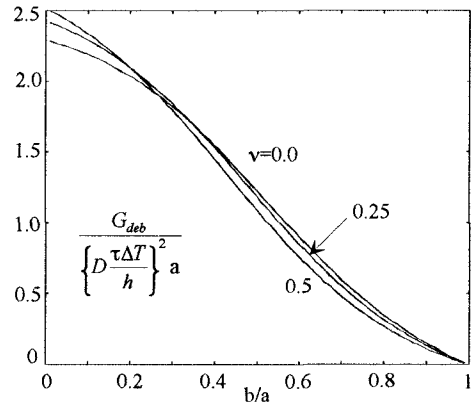


図-4 剥離のエネルギー解放率

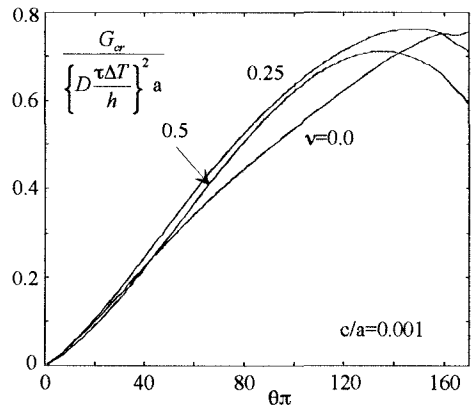


図-5 クラックのエネルギー解放率