

帯板異材接合部のはく離の解析

名古屋工業大学 学生員 ○加藤 誠司
名古屋工業大学 正員 長谷部 宣男

住友金属工業(株) 正員 上田 篤志
名古屋工業大学 正員 中村 卓次

【1.はじめに】 本研究では、同一形状で材料定数が異なる2つの帯形状部材を接合し、部材両端に荷重を作用させて、接合部両端から剥離が発生した場合の接合部での強度解析を行う。解析手法として有理写像関数と複素応力関数を用いる。本報告では剥離先端での接合強度の指標としてS I D (『剥離の応力の強さ (Stress Intensity of Debonding)』)を用いる。荷重として集中引張力、偶力がそれぞれ作用する場合の解析はすでに報告している^{1), 2)}。本報告では、集中引張力と偶力を同時に作用させ、荷重の組み合わせによるS I Dの変化を調べて、剥離先端での強度解析を行う(重ね合わせ荷重に対するS I Dは、それぞれの荷重に対するS I Dを単に重ね合わせるだけでは求められない)。

【2.解析方法】 fig.1-aに示すように、帯形状部材に集中引張力Pと偶力Mが作用するモデルを考える。このモデルでは接合線に対して部材形状が対称であるので、接合線で切断してfig.1-bのように考え、同一の有理写像関数 $\omega(t_1)$ を用いて、この形状をfig.1-cの単位円内に写像する¹⁾。複素応力関数 $\phi_j(t_1)$ の一般解は文献1), 2)と同じ形である。また、荷重項 $H_j(t_1)$ は集中引張力Pによる荷重項¹⁾と偶力による荷重項²⁾とを重ね合わせた形となるが、実際の解析においては一次導関数を用いるので、ここでは荷重項の一次導関数 $H_j'(t_1)$ を示しておく。添字1は材料Iに関するものを表し、材料IIの応力関数は添字1と2を入れ換えて得られる。

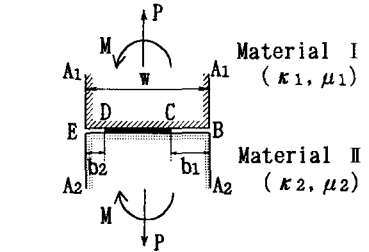


fig.1-a 実物理面

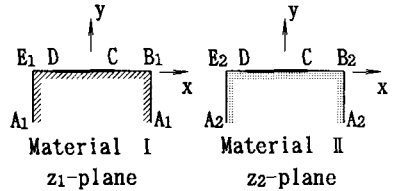


fig.1-b 仮想物理面

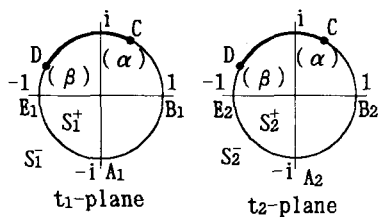


fig.1-c 写像面 (単位円)

$$\phi_1(t_1) = H_1(t_1) + \frac{\gamma_1}{1+\lambda_1} \left[-\sum_{k=1}^N \left\{ 1 + \frac{1+\lambda_1-\gamma_1}{\gamma_1} \frac{\chi_1(t_1)}{\chi_1(\zeta_k)} \right\} \frac{A_{1k}B_k}{\zeta_k-t_1} + \sum_{k=1}^N \left\{ 1 - \frac{\chi_1(t_1)}{\chi_1(\zeta_k)} \right\} \frac{A_{2k}B_k \zeta_k'^2}{\zeta_k-t_1} \right] \quad (1)$$

$$H_1'(t_1) = \frac{y_1(t_1)}{2\pi} i \left[\frac{P}{(i+t_1)y_1(-i)} + \frac{M}{\epsilon} \left\{ \frac{1}{(s_{21}-t_1)y_1(s_{21})} - \frac{1}{(s_{11}-t_1)y_1(s_{11})} \right\} \right] \quad (2)$$

$$y_1(t_1) = \frac{\chi_1(t_1)}{(t_1-\alpha)(t_1-\beta)} \quad (3)$$

ここで $\chi_1(t_1) = (t_1-\alpha)^{m_1}(t_1-\beta)^{1-m_1}$, $m_1 = 0.5 + i(\ln \lambda_1)/(2\pi)$, $\lambda_1 = (1-\beta_0)/(1+\beta_0)$, $\gamma_1 = (1-\alpha_0)/(1+\beta_0)$ であり、 α_0, β_0 はDundursの材料定数である。

【3. S I D】 fig.1-bでの応力関数を剥離先端 $z_j = z_*$ で展開し、特異項である第一項をとって次式のように表す³⁾。

$$\phi_j'(z_j) = \frac{K^{(j)} \exp(\pi \epsilon_j)}{2\sqrt{2\pi}} (z_j - z_*)^{m_j-1} + O(r^0) \quad (4)$$

ただし、 ϵ_j は m_j の虚部で $\epsilon_1 = -\epsilon_2$ である。剥離先端近傍の応力⁴⁾及び剥離の進展に伴うエネルギー解放

率³⁾は $K^{(j)}$ を用いて表される。従って $K^{(j)}$ は、均質材に対する応力拡大係数と同様に、剥離進展の指標にできる(材料I, IIが同一ならば、均質材の応力拡大係数に一致するものである)。本報告では、次式で無次元化したS I Dを用いる。

$$F = \frac{\sqrt{2} \{w - (b_1 + b_2)\}^{3/2}}{(Pw + 6M)\sqrt{\pi}} \sqrt{K^{(j)} K^{(j)}} \cosh(\pi \varepsilon_j) \quad (5)$$

【4. 解析結果】 fig. 2は材料定数を一定($\alpha_D = -0.50$, $\beta_D = -0.15$)とし、荷重(集中引張力 P ・偶力 M)の比率を変化させた場合の F の値の変化を示す。点Cでの F の値をfig. 2-aに示すが、これより、左右の剥離長($b_1/w = b_2/w = b$)が長いほど P と M の比率による F の値の変化が大きいことがわかる。fig. 2-bには点Dでの F の値を示すが、式(5)で無次元化を行っているため実際には F の値が負になることはない。しかし、荷重として偶力のみが作用した場合には点Dで圧縮応力となることを考えれば、fig. 2-bのように負の範囲にまで拡張して考えた方がよい。なお、 F の値が負となる範囲では剥離先端近傍(点D)で圧縮応力となり剥離が進展する可能性はない。しかし、荷重が $-P$, $-M$ となれば F の値の符号が入れ替わり、fig. 2-bの負の範囲で剥離進展の可能性がある。fig. 2-a, bとも剥離長が長いほど F の値が小さくなっているが、これは式(5)で無次元化したためであり、実際の現象としては剥離長が長いほど剥離は進展しやすい。

fig. 3には、左右の剥離長が等しく($b_1/w = b_2/w = 0.20$)、荷重(集中引張力 P ・偶力 M)の比率を変化させた場合のBE上の応力分布の一例を示す。case(A) ($6M/Pw = 0.40$)とcase(B) ($Pw/6M = 0.60$)では、点Dでの F の値の大きさはほぼ等しいが、応力分布は全く異なったものとなる。応力 σ_y に着目すると、case(A)では剥離先端近傍の点C, Dで共に引張応力となっており剥離進展の可能性がある。case(B)では、点C近傍では引張応力となっているが、点D近傍では圧縮応力となり剥離進展の可能性がない。これは、fig. 2-bにおいて F の値がcase(A)では正值、case(B)では負値になるという結果と一致する。

《参考文献》 1) 加藤ら「異種

材料接合部での強度解析」第46

回年次土木学会講演概要集第1

部(1991) 2) 加藤ら「はく離

を有する帯板異材接合部の応力

解析」第41回応用力学連合講演

会講演予稿集(1992) 3) 長谷

部ら「集中偶力を受ける異材半

無限板接合端に発生したクラッ

クおよびはく離」材料, 39, 445

(1990) 4) G. C. Sih, "Cracks

in Composite Materials" (1981)

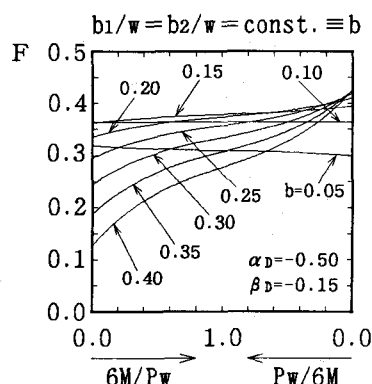


fig. 2-a 荷重と点CでのS I D

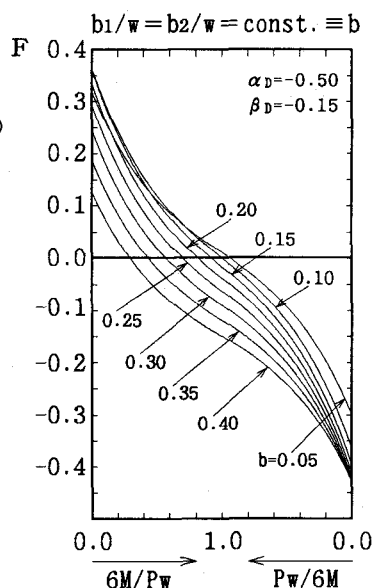


fig. 2-b 荷重と点DでのS I D

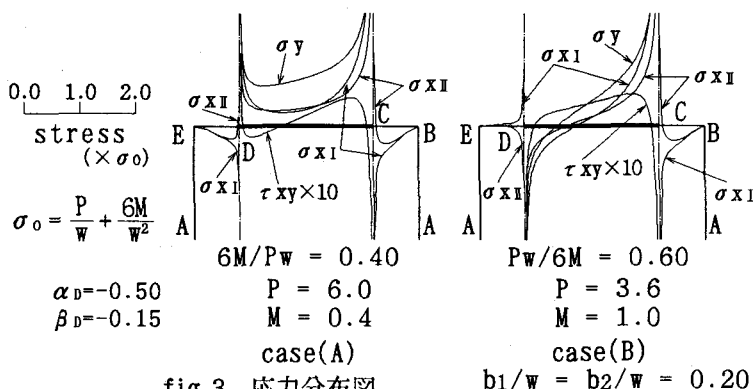


fig. 3 応力分布図