

直交異方性体中の境界面亀裂周辺の応力集中に関する研究

岐阜大学

岐阜大学 (中国華北水利水電学院)

岐阜大学

学生員 ○安間朋寿

正会員 段 樹金

正会員 中川建治

1. まえがき

弾性定数が異なる2種類の直交異方性弾性体が接合されている境界面に未接合の状態(部分)として形成されている接合面亀裂はインターフェイス・クラック (interface crack) と名付けられている。土木工学の分野においてはこのインターフェイス・クラックの問題に対応する力学モデルは多く、例えば岩盤上に打設されたコンクリートの打設面、強さの異なるコンクリートの打ち継ぎ目、鋼とコンクリートの接触面、地層中の異質岩盤の接触面等に生じている空隙等の周辺の応力集中問題である。さらに厚さの異なる鋼板の溶接の未溶接部分等は、板の厚さを剛さで表現して2次元問題として扱うと典型的な境界面クラックの問題となる。

本研究では図-1に示すような弾性特性が異なる2種類の直交異方性体の接触面におけるクラック先端付近の応力度が緩やかに増加しつつ、有限な応力集中となるような応力関数を導くことを目的としている。

2. 応力関数 $W_j(\xi, \eta)$ について

応力関数 $W_j(\xi, \eta)$ をフーリエ変換で表された重調和関数として次のように定義する。

$$W_j(\xi, \eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \{C_{j1}(t)e^{iz_{j1}t} + C_{j2}(t)e^{iz_{j2}t} + C_{j3}(t)e^{iz_{j3}t} + C_{j4}(t)e^{iz_{j4}t}\} dt \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $C_{j1} \sim C_{j4}$ は t の任意関数であり、 $j=1$ と $j=2$ はそれぞれ下半平面と上半平面とに対応している。関数が発散しないように次の条件を付ける。

$$t < 0 \text{ で } C_{j3}(t) = C_{j4}(t) = C_{21}(t) = C_{22}(t) = 0$$

$$t > 0 \text{ で } C_{11}(t) = C_{12}(t) = C_{23}(t) = C_{24}(t) = 0$$

3. 開口変位と境界条件

ξ 軸(境界面)に沿う亀裂の開口変位(食い違い)は $|\xi| < T$ の区間に生じて有限項のフーリエ級数で表されるものと仮定する。ただし開口面で応力 σ_z , τ_{xz} の消滅する区間は $|\xi| < a$, $a < T$ であって、 $a < |\xi| < T (= a + b)$ の区間は応力にはなんらの拘束条件を付けずに放置するのである。これが本研究の特徴であり、このような領域が存在することによって従来の研究で生じていた不合理な集積特異点が消滅するのである。

変位は $|\xi| > T$ の区間では

$$u_1(0, \xi) - u_2(0, \xi) = 0$$

$$v_1(0, \xi) - v_2(0, \xi) = 0$$

$\dots\dots(2)$

であり $|\xi| < T$ の区間では

$$u_1(\xi, 0) - u_2(\xi, 0) = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin\{k\pi(\xi + T)/2T\}$$

$$v_1(\xi, 0) - v_2(\xi, 0) = \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin\{k\pi(\xi + T)/2T\}$$

$\dots\dots(3)$

である。また、境界条件は

$$\begin{aligned} u_1 - u_2 &= \delta u(\xi), & v_1 - v_2 &= \delta v(\xi) \\ \sigma_{\eta 1} - \sigma_{\eta 2} &= 0, & \tau_{\xi \eta 1} - \tau_{\xi \eta 2} &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots(4)$$

とする。式(3)に含まれるフーリエ係数 U_n 、 V_n は開口区間 $(-a, a)$ で σ_z の2乗の和と τ_{xz} の2乗の和を最小とする条件と開口部先端の特異項をゼロとする条件で決定する。

4. 計算例

図-2に ξ 軸における応力と開口変位の様子を示す。例では、 $B_{x1}=1$ 、 $B_{y1}=3$ 、 $B_{x2}=B_{y2}=5$ であり、 $\nu_{x1}=0.1$ 、 $\nu_{x2}=0.2$ 、 $a/T=0.7$ である。図からいずれの応力度もクラック先端付近で緩やかに増加しつつ有限な応力集中となっていることがわかる。また、境界面にせん断応力度が存在しその大きさは他の応力度に比して小さいが他と同様緩やかに増加しているのがわかる。上が主軸角 $\omega_1=0^\circ$ 、下が主軸角 $\omega_1=45^\circ$ の場合である。図3に主軸角 ω_1 の変化に伴う σ_z と τ_{xz} の最大値の変化を示す。

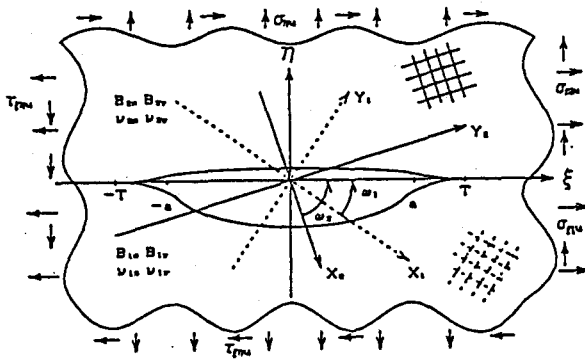


図-1 解析モデル

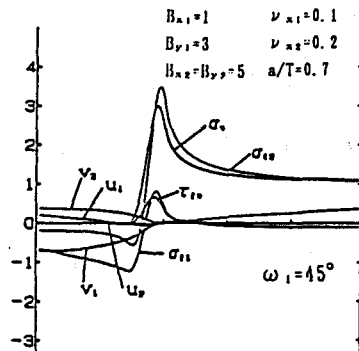
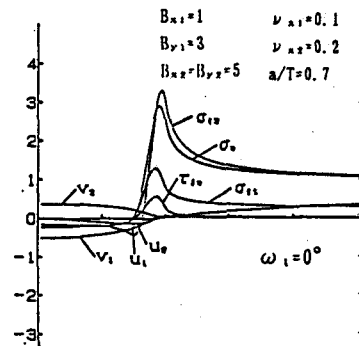


図-2 ξ 軸における応力と開口変位

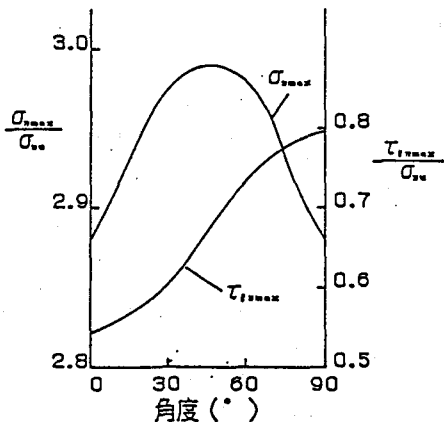


図-3 主軸角の変化に伴う $\sigma_{z\max}$ と $\tau_{xz\max}$