

異質弾性体の境界面周辺の応力特性について

岐阜大学工学部

○正会員 藤井康寿

昭栄エンジニアリング(株)

正会員 金 奉烈

岐阜大学工学部

正会員 中川建治

1. まえがき

コンクリートと鋼材の接合面に発生するクラックあるいはコンクリートや地盤・岩盤等のようなクラックを含む材料の力学特性を定量的に把握することは、構造物の破壊評価を行うための一つの重要なファクターと考えられる。本研究では、弾性定数が異なる材料間の接合面に生じるインターフェイスクラック周辺の応力集中の大きさと弾性特性との関係や破壊進行領域(Fracture process zone)の進展による応力集中の特性を把握するために、図-1に示す二種類のクラックモデルを想定して、比較検討を試みたので報告したい。数値解析法はすでに文献^{1),2)}で報告した有限で滑らかな最大応力を構成する方法であり、作用外力はクラック面に平行な一様せん断力あるいはクラック面に垂直な一様引張り力である。解析結果は、一つは剛性やポアソン比のパラメータの変化に対する最大応力の挙動としてまとめられている。もう一つは破壊進行領域の進展による y 軸上の応力分布として表されている。

2. 解析条件

1) 本解析では、図-1に示す $x < 0$ の左半平面は鋼の材質と仮定して、各材料特性の添え字には1を付加する。同様に、 $x > 0$ の右半平面はコンクリートの材質と仮定して各材料特性には2を添付する。巨視的に観測されるクラック長さ a を 1cm とし、無限遠方には、一様せん断応力あるいは一様引張り応力を個別に作用する平面応力問題として、 $\sigma_{x0} = \tau_{xy0} = 1$ とする。

2) コンクリートおよび鋼材は、等方等質の材料であるとして、鋼材のヤング係数は無次元量 $E_2 = 1$ を用い、ポアソン比は $\nu_2 = 0.3$ と規定する。コンクリートのヤング係数 E_1 は各種材料の適用性を考慮して $1.0 \sim 0.001$ まで変化すると仮定した。同様に、ポアソン比 ν_1 も $0.3 \sim 0.001$ まで変化させた。

3) 本研究では従来のインターフェイスクラックの解析解において見られるクラック先端近傍の不都合な集積特異点(振動しながら発散していく応力分布)の様相を示す応力集中を回避する解析解を誘導した。その設定条件としてクラック先端に巨視的なクラックとは異なる破壊進行領域(Fracture process zone) b を設定している。これが本研究の特徴であり、 プロセス 内では有限な勾配で立ち上がる応力度と滑らかな開口変位が共存する区間である。 プロセス の長さ b を $0.15 \sim 0.40(\text{cm})$ までクラック線上の応力集中の変化を検討する。

3. 解析結果および考察

インターフェイスクラック周辺の応力集中の特性を把握するために、いくつかの計算結果を図表として示す。図-2および図-3は、両側弾性体のヤング率比の変化に伴う応力の変化を検討するためにヤング係数 E_1 のみを変化させたときの応力集中の最大値 $\sigma_{x\max}$, $\tau_{xy\max}$ を図示したものである。無限遠方の一様応力分布がせん断応力作用と引張り応力作用の相違があるだけで他のパラメータは全て同一条件である。作用外力が一様引張り応力(図-2)の場合、ヤング係数 E_1 が減少することにより最大引張り応力 $\sigma_{x\max}$ は多少減少し、最大せん断応力 $\tau_{xy\max}$ は緩やかな放物線状に増加することが認識できる。これらの得られた結果を変位と関連つけて考察すれば、クラックが y 軸に沿って設定されて x 軸方向に外力が作用している状態では、 x 軸方向の変位 u がヤング係数 E_1 が減少につれて変形し易くなり応力解放が生じることにより、最大引張り応力の多少の減少を引き起こしているものと考えられる。図-3についても作用外力が異なるだけで同様な考察が成り立つと推定される。図-4および図-5は、左右半平面が同じ剛性を有している材質においてポアソン比の変化に伴う応力の変化を図示したものである。作用外力と同じクラック線上の応力はポアソン比の変化の影響が無く両図とも一定である。作用外力と異なる応力は 0 から微小単調

増加の傾向が現れている。図-6および図-7は剛性が異なる場合($E_1 \neq E_2$)のポアソン比の変化による最大応力の変化状況を図示したものである。図-4および図-5と比較して左右の剛性が異なる場合、作用外力と同一のクラック線上の応力はポアソン比の減少の影響を受けて減少傾向を示す。また、外力と異なる応力はポアソン比の変化の割合よりヤング係数の相違による応力の増加が顕著に現れている。図-2~図-7の計算結果から共通に推察されることは、外力として引張り応力が作用する場合はクラック線上の最大応力はせん断応力より引張り応力の方が大きな値を示し、逆にせん断応力が作用する場合は最大せん断応力の方が値が大きい。図-8および図-9はプロセズン b の長さの変化に対するクラック線上の応力分布を図示したものである。クラック開口部($a < l$)では応力が存在せず応力が解放された区間であることが認識できる。プロセズンの長さ b が短くなるにつれて応力集中が増大することが認識されるが集積特異点の様相は現れていないことが認識されよう。

参考文献: 1) 加藤・藤井・中川: 異質弾性体の直線境界面上にある亀裂の応力集中解析、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集I, pp. 978-979. 2) 金・藤井: 部分接合された異質弾性体の接合部近傍の応力集中解析、土木学会中部支部概要集, pp. 101-102(1993).

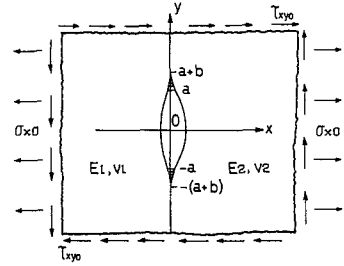


図-1 断れ方

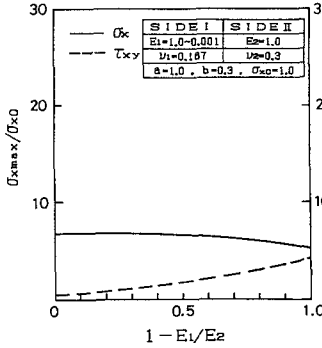


図-2 E_1 の変化による応力 σ_x と τ_{xy} の最大値の変化
(一様引張り応力 σ_{x0} 作用)

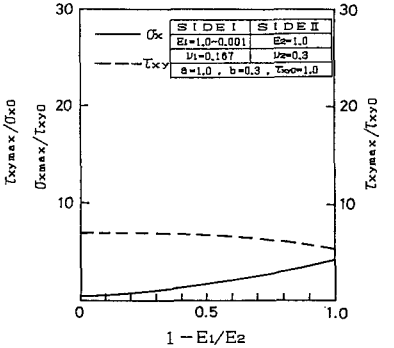


図-3 E_1 の変化による応力 σ_x と τ_{xy} の最大値の変化
(一様せん断応力 τ_{xy0} 作用)

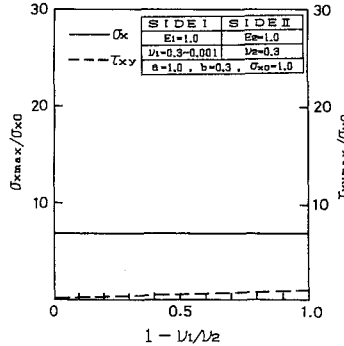


図-4 ν_1 の変化による応力 σ_x と τ_{xy} の最大値の変化
($E_1=E_2=1$, 一様引張り応力 σ_{x0} 作用)

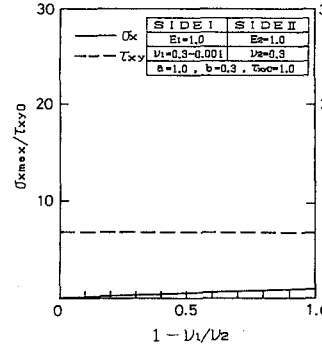


図-5 ν_1 の変化による応力 σ_x と τ_{xy} の最大値の変化
($E_1=E_2=1$, 一様せん断応力 τ_{xy0} 作用)

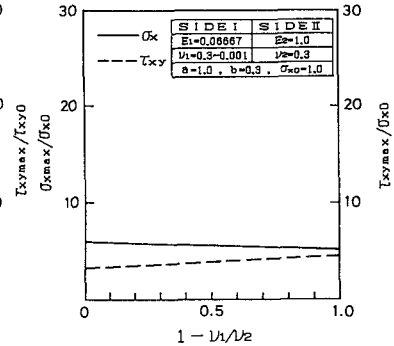


図-6 ν_1 の変化による応力 σ_x と τ_{xy} の最大値の変化
($E_1 \neq E_2$, 一様引張り応力 σ_{x0} 作用)

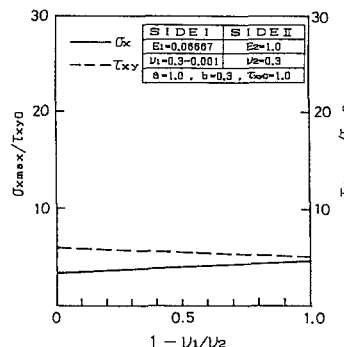


図-7 ν_1 の変化による応力 σ_x と τ_{xy} の最大値の変化
($E_1 \neq E_2$, 一様せん断応力 τ_{xy0} 作用)

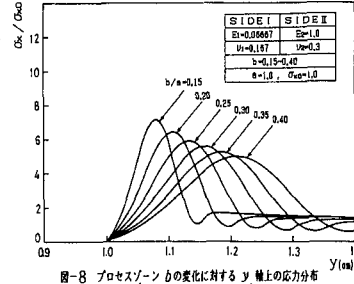


図-8 プロセズン b の変化に対する y 軸上の応力分布
(一様引張り応力 σ_{x0} 作用)

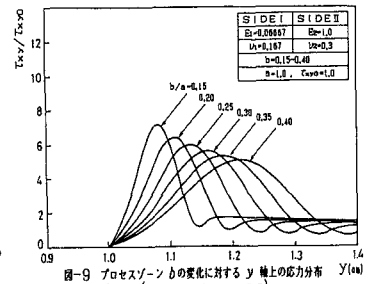


図-9 プロセズン b の変化に対する y 軸上の応力分布
(一様せん断応力 τ_{xy0} 作用)