

複合材料のき裂進展挙動における材料パラメータの影響

木更津工業高等専門学校 正会員 ○石井 建樹

木更津工業高等専門学校 川口 勇一郎

1. はじめに

近年、高レベル放射性廃棄物地層処分、地熱開発（EGS）など深部地下利用において、岩盤の安定性評価・き裂進展制御が重要な課題となっている。そのためには、微視的に様々な鉱物を含む岩石自体の特性を把握する必要がある。例えば、花崗岩の破壊挙動は、鉱物粒子の境界での剥離と鉱物粒子の破壊が互いに影響しあった結果として生じる。しかしながら、岩石に含まれる鉱物の物性値を知る自体が非常に困難である。

そこで本研究では、一般化有限要素法の1つである有限被覆法(FCM)によるき裂進展解析¹⁾を用いて、初期段階のき裂発生・進展挙動を検討し、複合材料のき裂進展挙動における物性値の影響を検討した。

2. FCM き裂進展解析¹⁾の概要

本研究で用いた FCM き裂進展解析では、FCM の特性により、要素形状に依存しないき裂を表現できる。また、Lagrange 未定乗数による界面要素を材料境界に配置することで異種材料境界面に生じる結合力を評価でき、材料境界での剥離によるき裂発生も追跡することが可能である。

材料内の破壊は、最大主応力が引張強さに達したときに最大主応力方向と垂直な方向にき裂を発生させる。一方、境界面の剥離は、結合力が引張強さに達したときに界面要素を取り除くことで再現する。

3. 界面要素の必要性の検討

複数の材料が存在する複合材料の破壊は、材料内部だけでなく、異種材料境界面での剥離によるものが知られている。そこで、破壊靱性試験の一つである Semi-Circular Bending (SCB)試験²⁾において、図-1に示すように、試験片の人工き裂先端に鉱物粒子を模擬した楕円の介在物を配置したモデルを用いて、界面要素の必要性を検討する。その際、異種材料を異なるメッシュで作成して、その境界に界面要素を配置して結合するモデル A と、界面要素は配置せず同一メッシュで作成して、異なる物性値のみを設定したモデル B を準備した。

楕円介在物は、引張強さのみを母材 5.0MPa に対して 5.5MPa と大きくして、介在物中をき裂が進展しにくいように設定した。モデル A の材料境界の引張強さは母材と同じ 5.0MPa としている。

図-2 にき裂進展解析結果を示す。界面要素を導入したモデル A では、き裂が介在物を回り込むように進展するのに対して、モデル B では、き裂が直線的に進展している。以上より、複合材料の破壊解析では、界面要素の導入が必要であると考えられる。

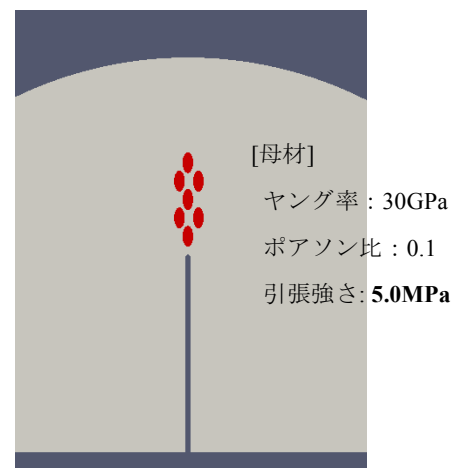


図-1 楕円鉱物粒子を配置した解析モデル

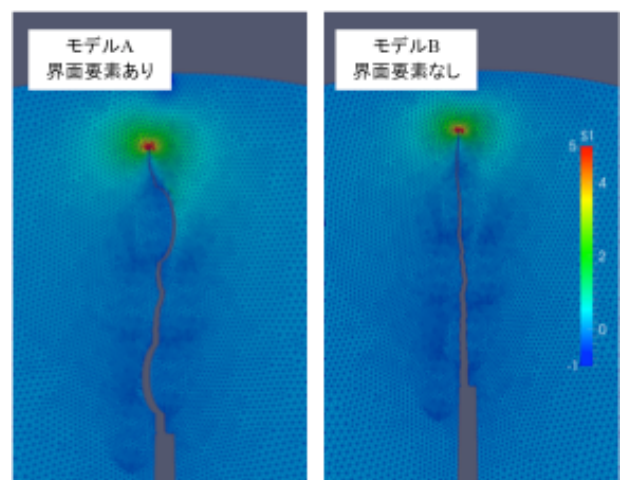


図-2 界面要素の効果（コンター：最大主応力）

キーワード 複合材料, き裂進展, 材料パラメータ, 有限被覆法, 界面要素

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1 木更津工業高等専門学校 T E L 0438-30-4156

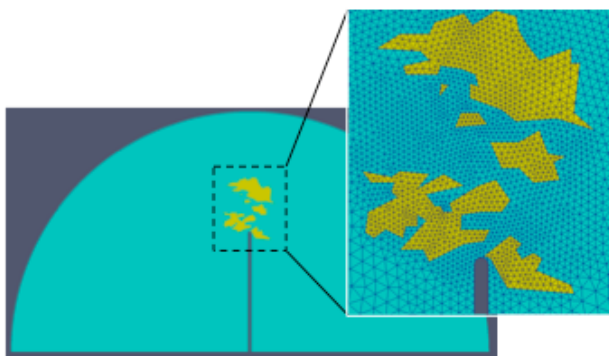


図-3 花崗岩を模擬した解析モデル

表-1 花崗岩を模擬した解析モデルの物性値

試験No.	母材		介在物		境界面
	ヤング率 [GPa]	引張強さ [MPa]	ヤング率 [GPa]	引張強さ [MPa]	引張強さ [MPa]
test00	30	5	30	5	5
test01	30	5	50	5	5
test02	30	5	30	8	5
test12	30	5	50	8	5

4. 材料物性値がき裂進展挙動へ与える影響

花崗岩を模擬した図-3に示す解析モデルを作成し、表-1に示す物性を仮想的に与えて、そのき裂進展挙動への影響を調べた。なお、ポアソン比を 0.1 と固定し、材料境界には界面要素を導入している。

図-4 に得られたき裂進展の様子を示す。test00 は、母材および介在物ともに同じである均質な物体である。そのため、直線的なき裂進展が得られている。これより、人為的に界面要素を導入した本手法が、確からしいき裂進展挙動を再現できることが確かめられた。

次に、ヤング率を大きくした test01 では、対称ではない微視構造を持つため、き裂がわずかに傾いて進展する結果となった。test02 のように引張強さを大きくすると、介在物にはき裂が進展しにくく、材料境界に沿うようなき裂進展が見られる。ヤング率、引張強さともに変化させた test12 では、き裂の進展方向が傾きつつ、界面剥離の影響を受けて、複雑なき裂進展挙動が得られている。

複合材料においては、ヤング率や材料の強さの組み合わせによって、き裂進展挙動が大きく変化することが確認できた。今後は、既往実験との比較を通じて、定量的な評価を進めていきたい。

参考文献

- 1) 石井建樹他：界面要素を用いた有限被覆法に基づく破壊進展解析法の開発，土木学会論文集，No.794/ I-72，pp.213-225，2005.
- 2) Kataoka, M. et al.: Estimation of Fracture Toughness of Anisotropic Rocks by Semi-Circular Bend (SCB) Tests Under Water Vapor Pressure, *Rock Mech. Rock Eng.* Vol.48, pp.1353-1367, 2015.

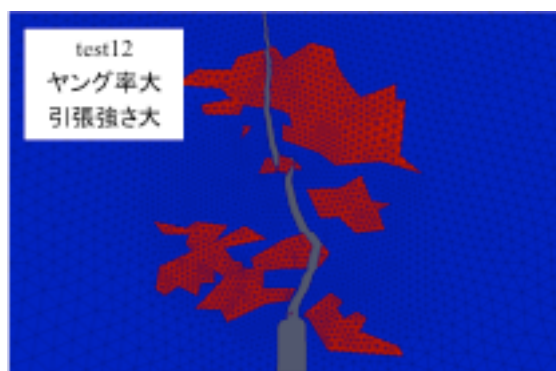
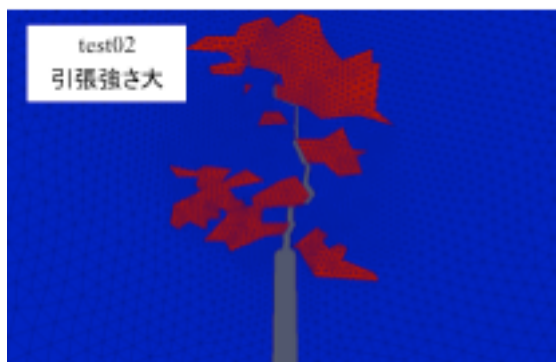
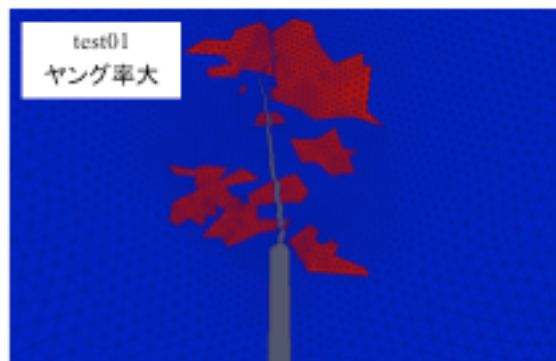
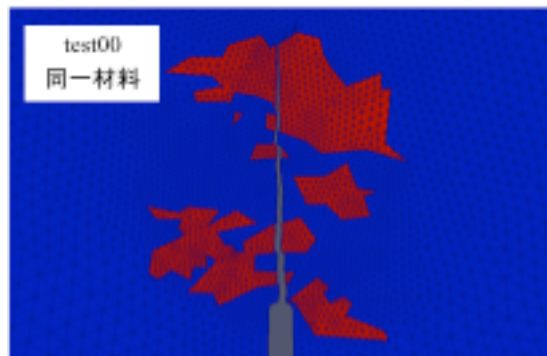


図-4 複合材料のき裂進展解析結果