

I-32

クラックテンソルを用いたぜい性材料における寸法効果の考察

株式会社 フジタ 技術研究所 正員 仲沢 武志
同 上 正員 門田 俊一

1. まえがき

コンクリートや岩石等のぜい性材料における破壊機構の特長として、寸法効果がある。寸法効果は、材料中に内在する微視クラックや不均質性等の微視的欠陥に起因するものと考えられる。この中、本文では、微視クラックによる微視構造について考えるものとする。そこで、微視クラックの力学的効果をEshelbyの楕円体介在物法による固有ひずみで評価し、これと、微視クラックによる微視構造の空間分布の表現であるクラックテンソルと対応づけることによって得られる構成則を用い、ぜい性材料の破壊機構における寸法効果をエネルギー解放率を用いて考察する。本文は、その概要を示したものである。

2. クラックテンソルを考慮した構成則¹⁾

図-1のような2次元スリット状クラック問題にEshelbyの楕円体介在物法を適用した場合、固有ひずみを平均化する領域の面積をAとすれば、全ひずみ ε_{ij} とクラックテンソル

$$F_{ij} = \frac{2\pi}{A} \sum^{(k)} c^{(k)} \varepsilon_n^{(k)} i_n^{(k)} j \quad (1)$$

の関係は、クラック間の力学的相互作用を考慮しない場合、次式のように求められる。

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon^e_{ij} + \varepsilon^*_{ij} = (D_{ijkl} + L_{ijkl}) \sigma_{kl} \quad (2)$$

ここに、 D_{ijkl} は母材の弾性係数であり、 ε^*_{ij} は固有ひずみである。

ただし、母材は等方であるとする。また、 L_{ijkl} は微視クラックの影響を表すものであり、平面応力状態に対しては次式のように求められる。

$$L_{ijkl} = \frac{1}{4E} (F_{ik} \delta_{jl} + F_{jk} \delta_{il} + F_{il} \delta_{jk} + F_{jl} \delta_{ik}) \quad (3)$$

3. 寸法効果に対する考察

(1) エネルギー解放率の計算法

寸法効果を表す指標として、ここでは、エネルギー解放率を用いる。なお、エネルギー解放率は、次式で計算するものとする。

$$G = - \frac{\partial U}{\partial a} \quad (4)$$

ここに、 G はエネルギー解放率、 U はクラックの進展によって生じる弾性エネルギーの変化であり、 a は巨視的クラックの進展長さである。ただし、ここでは、巨視的クラックの進展に対するエネルギー解放率を考察の対象とし、クラックテンソルで表されるような微視クラックに対するエネルギー解放率は考慮しないこととする。

微視クラックを伴う場合のエネルギー解放率の計算に、式(4)のような通常の破壊力学で定義さ

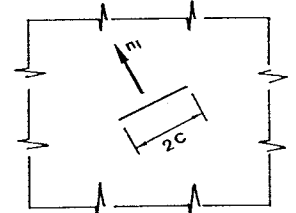


図-1 2次元スリット状クラック

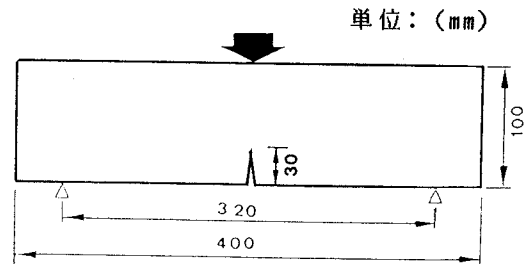


図-2 3点曲げ破壊靱性試験

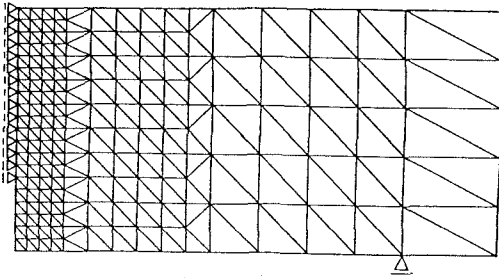


図-3 有限要素メッシュ分割

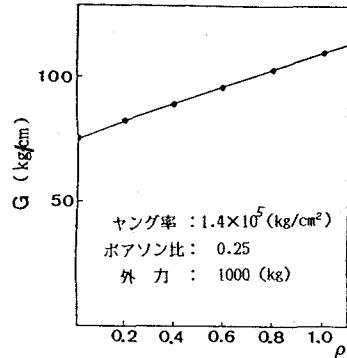


図-4 エネルギー解放率における寸法効果

れるものを、ここでは、本文の目的に対する第1段階として用いることとする。

(2) 対象とする微視構造

式(1)のような2階のクラックテンソルでは、一般的な直交異方性の微視構造を表現することができる。しかしながら、本文では、ぜい性材料の寸法効果に対する考察の第1段階として、等方な微視構造について解析する。等方な微視構造の場合のクラックテンソルは、材料中のクラックの密度を 2ρ とすれば、次式のように表せる。

$$F_{ij} = \rho \delta_{ij} \quad (5)$$

(3) 解析対象

ぜい性材料に対する寸法効果を考察するために、ここでは、破壊力学における破壊靱性を求めるために通常用いられている図-2のような巨視的クラックを伴う3点曲げ試験を解析する。なお、解析コードは有限要素法によるため、図-3には、有限要素メッシュを示してある。また、ここでの考察はモードIに対するものとする。

4. 解析結果

寸法効果を考察するために、図-2のような3点曲げ試験を解析したが、その結果を示したものが図-4である。なお、同図は、クラック密度 ρ とエネルギー解放率との関係を示している。クラック密度の増加に伴い、エネルギー解放率は増加しており、いわゆる寸法効果を示している。よって、クラックテンソルを考慮した構成則を用いて、寸法効果を定性的にはあるが表現することができる。

5. あとがき

寸法効果を考察するために、クラックテンソルを考慮した構成則を用いて巨視的クラックを伴う3点曲げ試験を解析した。その結果、定性的にはあるが、ぜい性材料に対する寸法効果を表現することができた。

しかしながら、ここでは、微視クラックによる微視構造は等方であるものとして解析している。一般的な微視構造に対するエネルギー解放率の考察もなされているが²⁾、このような場合における寸法効果特性や、その定量化についてさらに考察を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 仲沢、佐武：クラックテンソルによる微視クラックの表現とその応用、第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1990
- 2) 田中考司：巨視的クラックのエネルギー解放率に及ぼす微視クラックの影響、東北大学工学部土木工学科卒業論文、1990