

岩質材料の破壊に関する2,3の考察

京都大学工学部 正員 小林 昭一

1. はじめに

この論文は、現在急速に発展しつつある破壊力学との関連において、岩質材料の破壊を概観したものである。まず、岩質材料の破壊の基本的な特性を、多数の要素から成る構造物(多相材料)という観点から、要素ならびに系としての強度特性に基づいて、破壊の開始、伝播および系の破壊へと至る過程ならびにその機構を検討した。ついで、多相材料系の多軸応力下での一般的な破壊標準、ならびに内部構造変化に伴う系の巨視的応答特性の変化の表現法などについて検討し、最後に、多相材料系の破壊のモデル化についても言及した。

2. 破壊の基本特性

破壊は、種々のレベルで考えられる一種の非均一局所変形である。したがって、あるレベルを設定すると、破壊はそのレベルでの対象物の構造組織ならびに境界条件に極めて敏感である。換言すれば、破壊現象を追及するためには、対象とする系の全体的なレベルと同時に、常にそれより一般な^{より}要素レベルをも考える必要があるということになる。系の要素レベルは、一般には何段階^{より}も考えることができ、それぞれに対応した破壊の原因および機構が考えられる。

破壊は、その対象とする系に潜在する種々の欠陥に起因して、各レベルでの局所的に不連続な変形として発生する(破壊開始)。外荷重の増加と共に、あるいは他の原因で、このような非均一、不連続な変形が成長し、伝播し(破壊伝播)、場合によっては、これらが増大して、対象としたレベルでの不安定現象を生じる。対象とするレベルを次第に大きくしていても、なお不安定現象が追跡すれば、遂には系全体としての耐荷力が急激に減少して、系全体としての破壊(崩壊)に至る。このような過程は、破壊の過程と呼ばれている。

破壊の過程は、次のような方法で実際に確かめられている。(i)肉眼、顕微鏡、X線などによる観察、(ii)薄膜光弾性法、ひずみゲージ、ホログラフィなどによる測定、(iii)破壊音の検出、など。

破壊の過程は、また、供試体の巨視的挙動にも集積されて反映される。例えば、(i)巨視的な応力-ひずみ関係、(ii)ダイラタンス、(iii)弾性波速度の変化、(iv)電気抵抗の変化などとして観察される。

3. 破壊過程の巨視的な表現

要素レベルでの破壊は、その要素に潜在する欠陥周辺の応力ないしひずみに、その要素を構成する材料(要素)の固有の強度に等しくなったときを生じると考えられる。岩質

材料では、要素材料の固有の強度は、Griffith のエネルギー規準などで与えられるであろう。最も小さなレベルでは、これは原子レベルでの理想的強度となる。

破壊の過程は、このような要素の破壊が、時間的ないし空間的に複雑な相互作用の下に刻々変化して行く過程であり、定量的に追跡することは困難である。しかし、上述のように、その過程は系全体としての刻々の変化として、巨視的な挙動に反映されるので、逆に、外荷重に対する系の応答から推測することが出来る。したがって、破壊の進行に伴う内部構造変化に対して、刻々異なった値を取る状態パラメーターあるいは内部関数を導入すれば、系の巨視的な破壊過程を表現することが可能である。また、工学的には、これで十分な場合も多い。例えば、破壊規準として用いられている Mohr とか Coulomb の式は、それらの式に含まれている、いわゆる内部摩擦角とか粘着力を上述の材料パラメーター（状態パラメーター）と考えれば、その式が破壊過程を表わす式と解釈されるであろう。同様と考えれば、一般 Griffith 規準を状態パラメーターを導入して修正することは簡単である。簡単な載荷履歴の下で、例えば比例載荷の下で、多軸応力に対する岩質材料の巨視的破壊曲線（破壊状態曲線）も、実際に幾つか定められているが、これらは、いずれも一般 Griffith 規準ないし Mohr 規準を、破壊過程の長々ないし系の余剰度をパラメーターとして表現しているようである。しかしながら、一般には、このパラメーターは荷重条件とか載荷履歴に大きく左右されて、極めて複雑なものとなる。

4. 破壊のモデル

破壊過程は、き裂の成長、伝播、干渉などに伴う局所的な内部構造変化の過程である。この過程を、巨視的な挙動との対応において、モデル化することも試みられている。

概念的なモデルとしては、次のようなものがある。(i) Brandtzev 型モデル、(ii) Reinino 型モデル、(iii) 格子モデル、ラメーンモデル、トラスモデル、(iv) 有限要素モデルなど。これらは、非常に直感的に理解し易く、内部構造の変化が一般的巨視的な性質にどのように現われるかを定性的に捉えるには有効である。

なお、統計的な強度理論とか数学モデルもいくつか提案されている。さらに、実際の直接的なモデルとしては、実験用のモデルも考えられる。いずれにせよ、破壊のモデルの良否は、き裂の成長、伝播に伴う内部構造変化を如何によく定量的に表わすかにわっている。実験的事実を総合して、より実際のモデルを構成することが必要である。

5. おわりに

紙面の都合で、具体的な例とか文献は全て省略した。これらについては、当目述べることにする。なお、詳しくは、コフリース工学、10E.13, 16, 2, pp. 1~11 をも参照されたい。