

無次元数の導入による線形破壊力学の適用範囲の拡張

石名, 敏之

<https://doi.org/10.15017/1500725>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 石名 敏之

論 文 名 : 無次元数の導入による線形破壊力学の適用範囲の拡張

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

き裂を有する構造物の破壊防止のための線形破壊力学では、破壊因子を構造因子（構造物に作用する負荷としての応力拡大係数 K ）と材料因子（材料に固有な破壊じん性 K_c ）に分離してその競合関係を破壊則に用いる。この破壊則は破壊に先立つ塑性域寸法がき裂寸法に対して十分に小さい（小規模降伏）ときに有効である。この条件を満足しない場合には、 K では降伏後のき裂先端の状態を定めることができず、 K_c 値は変化するので、 K_c は材料定数とならない。そのような場合の弾塑性材料の破壊パラメータとしてはき裂先端開口変位 CTOD や経路独立積分 J 積分を利用した別の破壊則が広く利用される。これらのパラメータを用いれば大規模降伏においてもき裂先端近傍の力学状態を制御可能であるが、 J 積分や CTOD の値は材料の降伏応力や加工硬化特性に依存するため、線形破壊力学のように材料因子と構造因子を分離した簡便な破壊則とならない。さらにそれらを解析するためには適切な弾塑性解析（特に要素分割、要素タイプ、収束計算）をおこなう必要があるなどの理由から、非線形破壊力学は線形破壊力学に比べて利便性に乏しい。

また、線形破壊力学や非線形破壊力学はともに連続体理論を基礎とした工学的な手法であるが、実材料が有する不均質性に起因した不連続な現象として起こる実際の破壊に対してこれら工学的な手法が有効である範囲が理論的に示されたことがない。そこで破壊則が実際の破壊に対して有効であることを保証するためには、米国材料試験協会 ASTM などに代表される経験から作成した規格に基づいた材料試験が常に要求される。

そこで、本論文では、き裂を有する構造物の簡便な破壊評価手法を発展させるため、材料因子と構造因子を分離した線形破壊力学の適用範囲を拡張すること、さらに連続体理論を現実材料に適用するための理論的枠組みを構築することを目的とした。アプローチとして、代表材料強度 σ_r [MPa] と代表材料寸法 l_r [m]を用いた無次元手法を導入することにより、破壊じん性 K_c のき裂寸法に対する変化の仕方を定量的に予測することによって、線形破壊力学の破壊則をそのまま使用することに

した.

序論では、破壊力学が辿ってきた進歩の仮定を振り返りながら歴史解釈を与えるとともに、破壊則とその現実材料への適用に際しての問題点についてまとめ、本論文の立場と目的を明確にした.

第 2 章では、連続体モデルと材料組織に基づく材料挙動の不連続因子を考慮するための不連続モデルを融合し、 K_c の無次元化線図を導いた. 具体的には弾塑性下で解析的に閉じた形の解が得られる連続体モデルとして帯状降伏モデルに着目し、また、材料特有の不連続因子を定量的に表すためのモデルとしては有限要素モデルに着目した. まず、簡単のために、弾完全塑性体を対象とした. 弾塑性場における相似則を導入するために、材料の降伏応力を代表材料強度 σ_r [MPa] とし、帯状降伏モデルでは CTOD を、有限要素モデルではき裂先端における要素寸法とき裂線節点における相当塑性ひずみの値を用いて l_c [m] とした. これをもとに降伏規模にかかわらず弾塑性問題に対処するための破壊じん性の無次元化線図を示し、新たな破壊則を導いた.

第 3 章では、第 2 章で導いた新たな破壊則を、加工硬化を有する材料特性に対して応用することを目的とし、Ramberg-Osgood 型の応力ひずみ曲線を仮定した場合の無次元化線図を得るための手法を示した. さらに無次元化線図を利用して現実の材料の破壊評価をおこなうための方法について考察を加えた.

第 4 章では、第 2 章で導いた新たな破壊則を現実的な構造や負荷形式に対して応用するため、塑性拘束の影響を受ける因子としての構造物の板幅比 a/W を変化させた場合および実験の容易さからしばしば破壊じん性の材料試験的評価がおこなわれる負荷形式としての側面もある 3 点曲げ試験片を例に K_c の無次元化線図を示し、その利用方法を示した.

第 5 章では、第 2 章から第 4 章の結論をまとめるとともに、序論に対する結びとして学位論文を総括した.