

専攻	総合エネルギー工学	学籍番号	917051	指導教官氏名	竹園 茂男 教授
					本間 寛臣 教授
					埜 克己 助教授
申請者氏名	夏 少波				

論 文 要 旨

論文題目	ひずみ空間における非局所損傷を考慮した非弾性構成式とその応用
------	--------------------------------

(要旨 1,200 字以内)

材料の非弾性挙動は、その材料の微細構造の不可逆変化のパターン（例えば、延性材料では双晶化と結晶すべり；脆性材料では微小き裂の核形成と成長）によって異なる。連続体損傷力学（CDM）は各種の非弾性挙動を記述できる理論の 1 つである。

簡単に言えば、連続体損傷力学は塑性理論に微細欠陥を表す内部変数を導入した理論である。従って、従来の塑性理論は損傷を無視した理論と見なせる。連続体損傷力学では、微視的な現象を巨視的に説明できるように、構成式に含まれる内部変数を平均化処理している。

これまで提案されてきた連続体損傷力学は、局所点での損傷を定義してきたが、この理論の主な欠点は、材料内部に存在する欠陥相互間の影響と破壊の局所化を説明することができないことである。つまり、破壊した時のエネルギー散逸が零と予想され、有限要素法による解析では、メッシュを細かくすればするほど、より速く自明な解に収束する。そこで、これらの難点を解決するために、非局所連続体損傷力学が提案された。

本研究では、非弾性挙動を簡潔かつ合理的に記述するために、ひずみ空間において非局所損傷を考慮した非弾性構成式を定式化した。この定式化では、延性及び脆性材料に対して不可逆熱力学と内部変数理論を用いて、塑性と損傷が材料劣化（塑性劣化と損傷劣化）の原因であると仮定し、構成汎関数を 2 つの独立した関数から導出した。このような塑性ひずみテンソルと損傷テンソルは、実験事実あるいは計算結果から仮定した散逸ポテンシャルの一致性条件 (*Consistency Condition*) によって決定される。この定式化を用いると、材料のひずみ硬化、理想塑性及びひずみ軟化挙動を同一の方法で記述することができる。また、Rice や Gurson などによる微視的な直接解析法を、この定式化によると、巨視的な解法に変換することができる。

さらに本研究では、損傷の局所化を扱うために、不均一非局所損傷影響関数を仮定した。この関数を用いることにより、均一ひずみ場で損傷を定義した構成理論では、局所化破壊現象を説明することができないという不

合理性が解消された。

従って、本研究は Rice と Tracy、Gurson と Rousselier の理論を発展させたものであるといえる。

最後に、本非弾性構成式のいくつかの応用例を示した。

例 1、局所ひずみを持つ非局所弾性損傷の構成応答モデルを用いてき裂先端近傍の非局所損傷と非局所損傷応力の有限要素解析を行った。その結果、局所弾性損傷理論による結果と比べて、き裂先端応力の集中度が低くなり、その程度は非局所影響関数と材料の特徴長さに依存することが分かった。

例 2、非局所応力場の 1 次近似解を持つ非局所弾性損傷の構成応答モデルを用いて、き裂先端近傍の非局所応力の解析を行った。その結果、き裂先端の応力は無限大ではなく、有限になった。最大応力はき裂先端から離れた点で生じ、その値は非局所影響関数と材料の特徴長さに依存する。

例 3、き裂先端の周りに微小き裂領域 (MCZ) とき裂ブリッジ領域 (CBZ) を持つ、微小降伏を考慮した破壊過程領域 (FPZ) モデルを用いてき裂近傍の解析を行った。もし、き裂面上の集中荷重とある点の開口変位 (COD) が分かれば、局所損傷、非局所損傷、応力及び COD の各分布、FPZ の長さを決定することができる。ここで、損傷破壊基準は、ある点の引張り方向の応力がその材料の破壊強度に達した時、巨視的き裂がその点まで進展することとした。

計算結果によると、FPZ の内、CBZ では負荷能力が増加し、MCZ では負荷能力が減少した。この 2 つの領域の境界点は局所損傷と非局所損傷が等しい点である。

また、COD の計算結果は Miller らの実験結果 (ただし、荷重 P は 4.08kN 以内) とよく一致した。ただし、 P が 4.08kN より大きくなると、微小変形理論に基づく本モデルは適用できない。

例 4、非局所損傷を考慮した非線形弾性応答モデルを用いて、コンクリート梁の荷重-たわみの解析を行ったところ、解析結果は三点曲げの実験結果と一致した。

なお、コンクリート板の引張実験を行い、コンクリートの特徴長さを求めた。その結果、コンクリートの特徴長さは砂利の最大直径の 4 倍であることが分かった。