

審査の結果の要旨

氏名 朴 哉 炯

自動車、船舶、海洋構造物、列車、飛行機などの構造物は外力を受けたとき巨視的な変形とともに、非可逆的な微視的内部構造変化を伴うことが多い。近年、微視的内部構造変化による微小空隙の発生、成長とその力学的効果を評価するための有力な方法として連続体損傷力学に基づく研究が注目されている。損傷力学は塑性損傷、疲労損傷あるいはクリープ損傷などの多く問題に適用されているが、動的問題に適用された例は比較的少ない。本研究ではいくつかの構造要素および多層塗膜に対する動的損傷シミュレーション手法を提案し、数値計算によりその有用性を実証することを目的としている。すなわち、メッシュ依存性を解消した層分割法によるはりの動的弾塑性損傷解析法を提案している。続いて、セラミック材料と塗膜材料の衝撃強度を評価するための動的弾粘塑性損傷解析法を開発している。さらに、これらの解析法による計算結果と実験結果などとの比較により、提案した動的損傷解析法の有効性を実証している。

本研究ではまず層分割法に基づき、はりの弾塑性損傷挙動に対する有限要素解析法の定式化を行った。有限要素として線形チモシェンコはり要素を用いている。損傷力学に基づいてマイクロクラック、マイクロポイドなどの微視的損傷の影響を考慮し、接線剛性法による増分解析法の定式化を行った。層分割法を利用した、はりの弾塑性損傷解析における要素寸法依存性を排除するために、相対塑性回転角により記述された新しい損傷発展方程式を導入した。静的問題における有用性を確認した後、提案された弾塑性損傷解析方法を動的問題に適用することができるように拡張した。数値計算例により、提案アルゴリズムの動的問題における要素寸法非依存性を確認した。

ガスタービン分野では高温部にセラミックスを用いた高効率ガスタービンの開発研究が進められている。セラミックスを構造部材として使用するためには、種々の破損モードに対して安全性を確認する必要があるが、その一つが衝撃破壊である。特にガスタービンでは高速の燃焼ガス中に各種の微粒子が含まれており、これらの微粒子に対するセラミック部品の耐衝撃強度評価法を確立することがセラミックガスタービンの実用化に向けての重要な課題の一つである。本論文では、セラミック円盤の動的損

傷シミュレーションに対し、損傷力学に基づく弾塑性損傷解析手法を開発した。鋼球がセラミック円盤に衝突する衝撃実験に対する有限要素解析を行い、計算結果と実験結果を比較することにより、損傷力学モデルによる動的損傷解析法の有用性を検討した。また、数値計算による損傷破壊ボリュームが試験結果と良好に一致することを確認し、セラミック部品に対する動的損傷解析法の有効性を示した。

塗膜の耐久性の問題、特に外部衝撃による塗膜の耐久性低下による車体外面の腐食進行の問題が重要視されている。自動車の走行時に跳ね上げられた石等による衝撃により塗膜が損傷を受ける現象がチッピングであるが、この現象によって局部的に塗膜が破壊され剥離するため、塗装外観が著しく損なわれるだけでなく、金属面まで影響が到達する。自動車用塗膜は、通常は電着 / 中塗 / 上塗で構成されており、高速度衝突物に対する多層塗膜の耐チッピング性が重要な性能の一つである。良好な耐チッピング性を得るには塗装系のいずれかの層で飛び石の衝突エネルギーを吸収、拡散させる必要がある。本論文では、多層塗膜の各層の弾性変形、塑性変形、ひずみ速度の影響、破断などを含む力学的材料特性を厳密に考慮できる弾粘塑性損傷構成式モデル提案した。実際の塗膜材料に対する静的・動的引張り下の材料試験結果からこの弾粘塑性損傷構成式モデルを同定し、精密な弾粘塑性損傷材料定数を決定した。続いて、同定した弾粘塑性損傷構成式モデルをインプリメントした陽的有限要素法プログラムにより、多層塗膜の耐チッピング性評価および設計を支援する計算ツールを開発した。さらに、多層塗膜モデルの引張り破壊実験および多層塗膜モデルの落下実験に対し、数値計算結果と対応する実験結果を比較検討することにより、本解析手法の有用性を論じた。

以上を要するに、本論文は連続体損傷力学に基づいた動的損傷シミュレーション手法を提案し、他の解析解および実験結果との比較により、その設計支援ツールとしての有用性を実証しており、高い工学的価値を有すると判断される。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。