

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	浅井 邦夫
論文題目	タービン部材のフレット疲労・摩耗および構造減衰に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、タービン部材、特にタービン翼連結部に着目し、そのフレット疲労・摩耗および構造減衰に関して論じた結果をまとめたもので、6章から構成されている。</p> <p>第1章は緒論で、フレット疲労や摩耗、摩擦モデル、構造減衰に関する従来の研究内容と課題について整理した。また、フレット疲労を2形態（比較的高面圧・小すべり条件と低面圧・大すべり条件）に分類して、疲労限度の面圧依存性や主き裂の位置について両者の相違点を明確にして論じた。</p> <p>第2章では、比較的高面圧・小すべり条件のフレット疲労について検討した。面圧とフレット疲労強度の関係、および破壊力学による定量的な評価を目的として、強度の異なる2種類の12Cr鋼を用いて、種々の平均応力と接触条件でフレット疲労試験を実施した。局所面圧が高い線接触条件では、強度が極小になる接触荷重が存在し、極小強度となるHertzの平均接触面圧は0.2%耐力の約1.5倍に相当することが判明した。最大接線応力説を適用した微小き裂の進展・停留評価モデルにより、異なる接触条件で、2種類の静的強度、種々の平均応力に対する試験結果が、実用上問題のない精度で説明できることを示した。停留き裂長さについても、上記モデルによる解析結果と試験結果がよく一致することを示した。また、フレット予き裂材を用いた疲労試験により、応力比が-3~0.5の範囲における微小き裂の進展下限限界値ΔK_{th}に関するデータを取得し、タービン部材を設計する上で貴重なデータを提示した。</p> <p>第3章では、比較的低面圧・大すべりの条件のフレット疲労について検討した。面圧とフレット疲労強度の関係、およびそのメカニズムの解明を目的として、新たに考案した摩擦伝達型のフレット疲労試験を実施した。摩擦伝達型試験では、面圧が低下するほどフレット疲労強度が低下し、約25 MPaの面圧で最小の疲労強度を示すことがわかった。面圧低下により疲労強度が低下した原因は、接触端が幾何学上の接触端から接触面内部へ移動して応力集中が増加し、また圧縮平均応力の絶対値が低下してき裂進展が容易になったことによると結論した。接触面近傍のひずみ分布計測と非接触長さをパラメータとした応力解析により、面圧が低い条件では、真の接触端が接触面内部へ移動し、さらに繰返しに伴って接触端位置が変化する可能性があることを示した。フレット疲労強度の評価方法として、横軸に平均応力、縦軸に主応力振幅で整理した参照応力による手法を新たに提案した。本手法を用いることにより、異なる面圧条件で実施した試験結果が統一的に整理できることを明らかにした。</p> <p>第4章では、フレット摩耗の定量的な評価、およびフレット摩耗と一方向すべり摩耗の比較を目的として摩耗試験を実施した。その結果、1サイクルあたりの消費エネルギーとフレット摩耗量に良い相関があることを示した。また、</p>			

フレット摩耗量は、一方向すべり摩耗量よりも小さく、条件によっては $1/10^5$ 以下になる場合があることが判明した。さらに、接触面近傍の温度計測と熱伝導解析により、単位時間あたりの発熱エネルギーが 0.5W 以上では、接線力とすべり量のヒステリシス面積から求めた消費エネルギーと実際の発熱エネルギーがよく一致することを示した。

第5章では、接触面の摩擦モデルと、構造減衰や固有振動数の関係を明らかにすることを目的として、翼とロータの締結部であるダブル構造を模擬した加振試験を実施した。加振試験による固有振動数と減衰比から逆解析により求めた摩擦モデルの物性値は、フレット試験により取得した物性値とほぼ一致することがわかった。また、摩擦モデルの入力因子である接線力係数は、繰返し数に依存し、初期の 10^2 サイクルでは $0.15\sim 0.4$ と低い値であり、 10^7 サイクル付近の定常時には約 0.9 であることを示した。他の入力因子である接線剛性は、面圧に対してほぼ $1:1$ の関係にあり、面圧を低下するほど低下することを示した。面圧とともに接線剛性が低下する理由として、面圧低下による接触端の移動が関与していることを明らかにした。

第6章は結論であり、第2章から第5章までの研究成果を総括して、結論と将来の展望について述べた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、タービン部材のフレッティング疲労・摩耗および構造減衰に関して研究した成果をまとめたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

(1) フレッティング疲労を比較的高面圧・小すべり条件と低面圧・大すべり条件の2形態に分類して、面圧とフレッティング疲労強度との関係が両形態で異なることを初めて明らかにした。実機カバー構造を模擬した試験方法を新たに考案することにより、低面圧・大すべり条件下での試験が実施可能になった。さらに、詳細な計測と解析に基づいて、提案した仮説を検証することにより、フレッティング疲労強度の面圧依存性に関するメカニズムを解明した。

(2) 微小き裂の進展下限値 ΔK_{th} に及ぼす平均応力の影響、ならびに傾斜き裂に対する混合モードの影響を考慮することにより、フレッティング疲労を定量的に評価できるようになった。また、停留き裂の深さとき裂進展の方位に関する観察、傾斜き裂を導入したき裂材の有限要素法解析、ならびにフレッティング予き裂材を用いた ΔK_{th} の取得試験を実施し、フレッティング疲労に対する新たな評価手法を提示した。この手法を用いることにより、静的強度や平均応力、接触条件などが異なる10種類以上の試験条件下での結果を説明できることを示した。さらに、応力比が $-3\sim 0.5$ の範囲において微小き裂の ΔK_{th} に関するデータを取得し、タービン部材を設計する上で貴重なデータを提示した。

(3) フレッティング摩耗に関して、面圧やすべり速度を同じ条件に設定しても、通常の一方向すべり摩耗試験では、フレッティング摩耗を定量的に評価できないことを明らかにし、工学的に有用な示唆を与えた。また、接触面近傍の温度計測と熱伝導解析により接触面での発熱エネルギーを評価した結果、発熱エネルギーが特定の値以上になると、接線力とすべり量のヒステリシス面積から求めた消費エネルギーが実際の発熱エネルギーによく一致することを明らかにした。

(4) 摩擦モデルの物性値として取得した接線力係数とすべり量の繰返し数依存性に関する設計上有用なデータを提示した。また、面圧を低下するほど接線剛性が低下する理由として、接触端の接触面内部への移動が関与していることをはじめて定量的に示した。さらに、ダブルテーブルを模擬した加振試験を行うことにより、試験結果の逆解析から求めた摩擦モデルの物性値が、フレッティング疲労試験により取得した摩擦モデルの物性値とほぼ一致することがわかった。このことから、摩擦モデルに関するデータを蓄積することによって、実機翼の構造減衰に対する評価精度を向上できることを示唆した。

以上、本論文で得られた知見は、タービン部材の実機カバー接触面のフレッティング疲労設計に反映しうるものであり、製品の信頼性向上に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年5月24日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降