

審査の結果の要旨

氏 名 ショヘル ラナ

産業プラントのベルトコンベアには、設置から多年が経過し支持構造物に腐食などの劣化が進むものも多い。特に、製鉄所で利用されているベルトコンベアには、搬送物の粉塵が堆積し劣化の著しい部材も多い。十分な耐力が確保できず、ベルトコンベアが落下する事故も国内外で発生している。人的事故やプラント全体の休止にも繋がるため深刻な問題である。一方で、堆積物は部材表面に強固に付着し、目視点検を困難なものとしている。総延長の長いベルトコンベアを適切に管理・運用していくため、構造状態を定量的にかつ効率的に評価する技術の開発が急を要する課題となっている。

構造状態を評価する取り組みとして、これまで振動計測に基づく損傷同定が研究されている。しかし、ベルトコンベア支持構造物に適用するに当たっては、多数の変状が混在することや頻繁に更新されるベルトや回転部品、歩廊部材が動特性に影響することなどから、従来手法の適用は難しい。局部振動を利用した 2 次部材の損傷同定が報告されているものの、耐力評価において重要な主部材にはこの局部振動が存在しない。さらに、損傷の影響を堆積粉塵による質量変化の影響と区別して評価することが出来ない。

そこで本研究は、主部材が局部的に振動するモードである断面振動モードを利用した損傷同定法を提案した。本手法は堆積粉塵が固着し質量が変化した部材に対しても剛性低下を検知できるもので、数値モデルおよび実構造物で同定手法を検証している。

第一章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。ベルトコンベアの特徴を損傷同定の観点から説明するとともに、全体振動や局部振動を利用した既往の損傷同定法が、主部材の損傷評価に適用出来ず新たな手法が必要であることを述べている。

第二章は、振動計測に基づく損傷同定技術の最新の研究を概括している。全体振動を利用した方法、局部振動を利用した方法を整理するとともに、ベルトコンベア支持構造物主部材への適用における課題を説明している。

第三章では、ベルトコンベア支持構造物の断面振動モードの特徴を明らかにしている。まず、有限要素モデルを構築し、その振動モードを調べている。主部材が断面方向にのみ大きく振動する断面振動モードが存在すること、主部材を衝撃加振することで断面振動モードを励起できること、衝撃応答のスペクトルから断面振動モードを観測できることを示している。複数の主部材に模擬損傷を導入し振動特性を調べた所、損傷部材に局在化した

断面振動モードが明らかになった。この局部断面振動モードは、部材の損傷により振動数が大きく低下すること、他部材の損傷にはほとんど影響を受けないこと、無損傷部材の断面振動モードの振動数にほとんど影響を与えないことを明らかにしている。

第四章では、断面振動モードを利用した損傷同定手法を提案している。支持構造物は、同一諸元の多数の主部材から成り、損傷や堆積粉塵のない主部材も存在することから、これらの無損傷部材を基準として、断面振動モードの振動数を比較することにより損傷有無を判定するものである。損傷前の初期状態の記録は必要とせず、また複数部材の損傷も評価できるという特徴を有する。さらに、断面振動モードから推定した柔性行列を利用することで、堆積粉塵による質量変化の影響を受けずに剛性変化を評価できることを示した。柔性行列が質量変化の影響を受けないことを証明した上で、有限要素モデルの柔性行列推定値が質量変化に対してほとんど感度がないこと、および損傷により変化することを示した。引張耐荷力の推定に重要となる腐食の深さも、腐食形状に仮定を導入すれば推定できることを示している。

第五章では、振動計測データから対象部材の柔性行列を推定する方法を示している。状態空間モデルを用いて、衝撃加振力および振動応答の時刻歴データを処理することで柔性行列を推定している。

第六章では、製鉄所から撤去されたベルトコンベア支持構造物に対して、提案した損傷同定法を適用し、損傷同定性能を実験的に明らかにしている。腐食部材の振動数が無損傷部材の振動数に対して小さく損傷検知が可能なこと、柔性行列が損傷により変化する一方で質量変化に対しては不変であることを示している。

第七章では、本論文のまとめを述べている。

本論文は、ベルトコンベア支持構造物の主部材を対象として、局所的な断面振動モードを利用した損傷同定法を提案した。製鉄所等のベルトコンベア評価における実用上の大きな課題となっていた、堆積粉塵による影響と損傷による影響の分離に成功している。有限要素モデルと、撤去されたベルトコンベア支持構造物で、それぞれ適用性を検証し、損傷同定できることを示した。従来着目されていなかった断面振動モードを利用して、実用上の課題を解決する提案であり、本論文の工学上の貢献は大きい。よって、博士（工学）の学位請求論文として合格と認める。