OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	長期供用された中空円筒型ゴム防舷材の劣化に関する研究
Author(s)	秋山, 斉
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69598
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　秋山　斉　）	
論文題名	長期供用された中空円筒型ゴム防舷材の劣化に関する研究

論文内容の要旨

船舶接岸用の緩衝材としてゴム防舷材が使用されるようになってから約60年が経つ。緩衝材として木材や古タイヤが用いられた時代は、壊れたら交換する消耗品であったが、近年では、船舶の大型化によって高さ3m程度のゴム防舷材が用いられることもあり、海運という社会基盤を支える重要な付帯構造物の一つとなっている。ゴムは有機化合物であり、鋼材やコンクリートに比べると経年劣化が生じやすいにもかかわらず、ゴム防舷材の劣化に関しては、未だ十分に明らかにされていない。したがって、今後、ゴム防舷材の合理的な維持管理を進めるうえで、劣化の機構やプロセスを体系的に把握することが急務となっている。

本研究ではこのような背景のもと、ゴム防舷材の中でも港湾施設での使用実績が多く、かつ洋上石油備蓄基地での貯蔵船係留用にも適用されている中空円筒型ゴム防舷材を対象とし、まず、長期供用された防舷材の劣化の実態を把握した上で、劣化後の性能の予測方法や、ゴム防舷材特有の劣化とその対応、ならびに劣化の現状を評価するための非破壊診断方法について検討し、防舷材の計画的維持管理に資する基礎的な知見を得ることを目的とした。

第1章では、序論として研究の背景、関連する既往の文献、研究の目的、論文の構成について述べた。

第2章では、ゴム防舷材の役割と歴史的変遷、材料としてのゴムの経年変化の要因と、それらが防舷材の性能に及ぼす影響、および設計における耐用年数の基本的な考え方について説明した。

第3章では、何らかの理由により交換に至った防舷材111基の記録を調査し供用年数・環境、交換理由等の関係を整理・分析した。また、そのうち49基については、現地より回収した実物での評価結果より、防舷材反力は供用年数とともに年率0.3～0.4%で上昇し、供用30年頃から変形異常や亀裂の拡大が顕著となるなど、劣化の特徴が把握できた。さらに、回収サンプルのうち12基について、ゴム物性の深さごとの経年変化を調査した結果、紫外線、あるいは酸素などに起因する劣化の深さは表面から約50～100mmであり、この範囲においては物性変化の勾配が大きくなっていることが明らかとなった。

第4章では、試験体での促進劣化試験により、性能の変化の予測手法を検討した。具体的には、まず、ゴムシートでの促進試験から得られた活性化エネルギーをアレニウスの式に適用することによって反応速度を求め、これより、促進時間を実際の供用年数に換算することで経年劣化の程度を推定する手法を提案した。また、ゴムブロックでの屋外暴露試験により、深さ方向の温度分布を計測し、防舷材のサイズや供用年数が異なる場合の物性変化を推定することで、防舷材反力が供用年数とともに上昇する傾向を、FEM解析を用いて明らかにした。さらに、ゴム表層部での劣化の特徴を把握すべく、サンシャインウェザーメータおよび熱、光、海水の影響を考慮した複合劣化促進試験を実施することにより、亀裂の起点となる表面ひび割れの発生と成長のプロセスを解明した。

第5章では、試験体での疲労試験を実施し、年数の経過とともに性能が低下し、やがて破壊に至るまでの過程を評価した。ここでは、第4章で用いたアレニウスの式に基づく経年劣化予測手法を累積疲労損傷度による寿命予測手法に導入することで、より実際に近い劣化状況の推定が可能であることを明らかにした。また、応力緩和や残留歪などの疲労試験の弱点を補うため、エネルギー制御による新しい疲労試験方法の提案も行った。

第6章では、防舷材における特徴的な劣化現象としての「再硬化」について述べた。長期の保管など、ある期間放置された後、改めて圧縮を受けると、放置前と比べて再び反力が上昇する現象について、その挙動を明らかにした。さらに、通常の使用条件下における低歪領域での応力緩和を考慮しても反力の上昇は不可避であることを実験的に示すとともに、その対応策を提言した。

第7章では、維持管理における現場点検での適用を想定し、非破壊での防舷材の劣化の評価手法について検討した。供試体での表面硬度測定、超音波法、衝撃弾性波法、および打音法の適用試験の結果を踏まえ、打音法により得た受信波形のスペクトル重心を比較することで、弾性係数の変化が推定可能であることを明らかにした。

第8章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題を示すことで結論とした。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（秋山　斉　）	
	（職）　氏　名
論文審査担当者	主査　教授　鎌田　敏郎 副査　教授　奈良　敬 副査　准教授　堤　成一郎

論文審査の結果の要旨

船舶接岸用の緩衝材としてゴム防舷材が使用されるようになってから約 60 年が経つ。緩衝材として木材や古タイヤが用いられた時代は、壊れたら交換する消耗品であったが、近年では、船舶の大型化によって高さ 3m 程度のゴム防舷材が用いられることもあり、海運という社会基盤を支える重要な付帯構造物の一つとなっている。ゴムは有機化合物であり、鋼材やコンクリートに比べると経年劣化が生じやすいにもかかわらず、ゴム防舷材の劣化に関しては、未だ十分に明らかにされていない。したがって、ゴム防舷材の合理的な維持管理を進めるうえで、劣化の機構やプロセスを体系的に把握することが急務となっている。

本研究ではこのような背景のもと、ゴム防舷材の中でも港湾施設での使用実績が多く、かつ洋上石油備蓄基地での貯蔵船係留用にも適用されている中空円筒型ゴム防舷材を対象とし、まず、長期供用された防舷材の劣化の実態を把握した上で、劣化後の性能の予測方法や、ゴム防舷材特有の劣化とその対応、ならびに劣化の現状を評価するための非破壊診断方法について検討し、防舷材の計画的維持管理に資する基礎的な知見を得ることを目的としている。

第 1 章では、序論として研究の背景、関連する既往の文献、研究の目的、論文の構成について述べている。

第 2 章では、ゴム防舷材の役割と歴史的変遷、材料としてのゴムの経年変化の要因と、それらが防舷材の性能に及ぼす影響、および設計における耐用年数の基本的な考え方について説明している。

第 3 章では、何らかの理由により交換に至った防舷材 111 基の記録を調査し供用年数・環境、交換理由等の関係を整理・分析している。また、そのうち 49 基については、現地より回収した実物での評価結果より、防舷材反力は供用年数とともに年率 0.3～0.4%で上昇し、供用 30 年頃から変形異常や亀裂の拡大が顕著となるなど、劣化の特徴を把握している。さらに、回収サンプルのうち 12 基について、ゴム物性の深さごとの経年変化を調査した結果、紫外線、あるいは酸素などに起因する劣化の深さは表面から約 50～100㎜ であり、この範囲においては物性変化の勾配が大きくなっていることを明らかにしている。

第 4 章では、試験体での促進劣化試験により、性能の変化の予測手法を検討している。具体的には、まず、ゴムシートでの促進試験から得られた活性化エネルギーをアレニウスの式に適用することによって反応速度を求め、これより、促進時間を実際の供用年数に換算することで経年劣化の程度を推定する手法を提案している。また、ゴムブロックでの屋外暴露試験により、深さ方向の温度分布を計測し、防舷材のサイズや供用年数が異なる場合の物性変化を推定することで、防舷材反力が供用年数とともに上昇する傾向を、FEM 解析を用いて明らかにしている。さらに、ゴム表層部での劣化の特徴を把握すべく、サンシャインウェザーメータおよび熱、光、海水の影響を考慮した複合劣化促進試験を実施することにより、亀裂の起点となる表面ひび割れの発生と成長のプロセスを解明している。

第 5 章では、試験体での疲労試験を実施し、年数の経過とともに性能が低下し、やがて破壊に至るまでの過程を評価している。ここでは、第 4 章で用いたアレニウスの式に基づく経年劣化予測手法を累積疲労損傷度による寿命予測手法に導入することで、より実際に近い劣化状況の推定が可能であることを明らかにしている。また、応力緩和や残留歪などの疲労試験の弱点を補うため、エネルギー制御による新しい疲労試験方法の提案も行っている。

第 6 章では、防舷材における特徴的な劣化現象としての「再硬化」について述べている。長期の保管など、ある期間放置された後、改めて圧縮を受けると、放置前と比べて再び反力が上昇する現象について、その挙動を明らかにしている。さらに、通常の使用条件下における低歪領域での応力緩和を考慮しても反力の上昇は不可避であることを実験的に示すとともに、その対応策を提言している。

第 7 章では、維持管理における現場点検での適用を想定し、非破壊での防舷材の劣化の評価手法について検討している。供試体での表面硬度測定、超音波法、衝撃弾性波法、および打音法の適用試験の結果を踏まえ、打音法により得た受信波形のスペクトル重心を比較することで、弾性係数の変化が推定可能であることを明らかにしている。

第 8 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題を示すことで結論としている。

以上のように、本論文は中空円筒型ゴム防舷材の劣化を、試験体での促進劣化試験や疲労試験、あるいは FEM による解析的な劣化予測など複数の手法を用いて検討し、それらの結果を長期供用された現地回収品の調査記録と照合することで妥当性を確認するとともに、ゴム防舷材特有の劣化に対する対応策、さらには劣化の現状を把握するための非破壊診断方法について検討しており、防舷材の計画的維持管理に資するものであると評価できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。