

## 学位論文題名

## ラップ接着された円筒体の応力特性に関する研究

## 学位論文内容の要旨

接着継手(接合)は、高分子工業の発達によるめざましい接着剤の進歩により、広い分野に用いられている技術である。特に、荷重を担う構造用接着継手は、最近では高性能・高強度・軽量化などを目的に着実に使用の増加がみられるが、構造物の二次的な箇所が多いのが現状である。これには幾つかの原因が考えられるが、接着継手の詳細な応力解析とそれに基づく応力特性の把握が十分でないことも大きな原因の一つである。さらに、接着継手を構造物を構成する主要構造部材へと用途の拡大を目指すには、様々な構造要素に対する検討はもちろんのこと、より過酷な条件下、例えば耐衝撃性、耐環境性などを検討することも重要な問題である。

本論文は、以上の点を踏まえて、多くの構造要素のなかで、これまでに十分なデータと研究があるとは言い難い、同種あるいは異種材料からなる被着体が、薄い接着剤層を介して結合されたラップ接着円筒体を対象に、その長軸方向に引張荷重が作用する場合の応力特性を、静的弾性問題、線形粘弾性問題および弾性衝撃問題として明らかにしたもので、全6章で構成されている。その概要は以下のとおりである。

第1章は緒論であり、ラップ接着された円筒体に関する既往の研究成果を略述するとともに、本研究の目的と意義を明らかにし、ついで、本論文の各章の概要を述べた。

第2章では、第3章から第5章で用いる有限要素法による離散化について述べている。すなわち、被着体の離散化に用いた8節点アイソパラメトリック要素の精度の検討を行い、また接着層の離散化に対しては、被着体と接着層の間にみられる寸法と力学的物性値の大きな差異による数値計算上の問題を回避するために、軸対称体のひずみ-変位関係式に合理的な近似を導入して新たな6節点接着要素を開発し、その剛性マトリックスと質量マトリックスを提示した。

第3章では、まず、第2章で提示した6節点接着要素の妥当性・有効性を薄肉円筒殻理論に基づいて導かれた既存の解との比較を通して明らかにした。次ぎに、接着層にエポキシ系の接着剤を採用し、被着体が鉄とアルミニウムの組み合わせから成る同種・異種結合の円筒体が軸方向引張荷重を受ける場合の静的応力解析を行い、円筒体の厚さ、被着体の厚さ、接着層の弾性係数、接着層の長さおよび厚さのパラメータが接着層内部の応力分布や接着層両端の応力集中に与える影響を検討し、①接着層の垂直応力とせん断応力の最大値は、一般に、荷重作用側の接着層の端で生じること、②接着層両端の応力の大きさは、応力分布が接着層中央に関して対称か非対称かに大きく依存し、前者では応力集中が緩和され、後者では高い応力が生じること、および③非対称な分布が顕著になるのは、異種結合の場合、被着体の弾性係数が小さい場合、接着層の弾性係数が大きい場合、および接着層が長く、その厚さが薄い場合である、などを明らかにしている。

第4章では、接着層の粘弾性的性質が接着層内部の応力分布に及ぼす影響を調べている。すなわち、接着層を4要素モデルの線形粘弾性体として、軸方向に一定の引張負荷を受け

る同種・異種結合の継手の解析を行い、①被着体を引き離す方向の引張応力は接着層の長さ方向のせん断応力より大きくなり、せん断応力は引張応力より早く減衰すること、②接着層中央に関する応力分布の非対称性は時間の経過とともに薄れ、その結果、接着層両端の応力集中は軽減されること、および③応力の減衰に大きな影響を与えるパラメータは接着層の長さと厚さであり、他のパラメータについては応力の時間変化に対するマスタークーブがあれば、任意時間の接着層の応力変化の推定が可能である、などを明らかにしている。

第5章では、ラップ接着された円筒体の耐衝撃性に関する基礎的データの入手を目的に、軸方向引張荷重がステップ関数状に作用する同種・異種結合の継手の弾性衝撃応答解析を行ない応力波伝播特性と接着層内の応力分布特性を検討し、①接着層両端の応力は、応力波の到達と同時に立ち上がり、応力集中が生じること、②応力波の立ち上がり後の時間的変動は、薄い円筒体では波長の長い応答が、厚い円筒体では波長の短い応答が顕著になること、および③応力の動的応答倍率は被着体の剛性に大きな影響を受け、倍率は同種結合では1以上、異種結合では荷重作用側の被着体に剛性の大きいな材料を用いれば1以下になる、などを明らかにしている。

第6章は、本論文の結論であり、各章における成果について整理、要約している。

# 学位論文審査の要旨

主査教授 三上 隆  
副査教授 角田 與史雄  
副査教授 佐伯 昇  
副査教授 佐藤 浩一

## 学位論文題名

### ラップ接着された円筒体の応力特性に関する研究

荷重を担う構造用接着継手は、最近では着実に使用の増加がみられるが、構造物の二次的な箇所で用いられる場合が多い。

本論文は、接着継手を主要構造部材へと用途の拡大を目指し、これまでに十分なデータと研究があるとは言い難い同種あるいは異種材料からなる被着体が、薄い接着剤層を介して結合されたラップ接着円筒体を対象に、その長軸方向に引張荷重が作用する場合の応力特性を、静的弾性問題、線形粘弾性問題および弾性衝撃問題として明らかにしたものであり、主要な成果を要約すると以下となる。

- ①被着体と接着層の間にみられる寸法と力学的物性値の大きな差異のために生じる数値計算上の問題点を回避するために、軸対称体のひずみ-変位関係式に合理的な近似を導入し、実用上十分な精度を有する6節点接着要素を提案した。
- ②接着層両端の被着体を引き離す方向に作用する引張応力および接着層の長軸方向のせん断応力の大きさは、応力分布が接着層中央に関して対称か非対称かに大きく依存し、前者では応力集中が緩和され、後者では高い応力が生じることを明らかにした。
- ③非対称な分布が顕著になるのは、異種結合の場合、被着体の弾性係数が小さい場合、接着層の弾性係数が大きい場合、および接着層の領域が長く、その厚さが薄い場合であることを明らかにした。
- ④衝撃負荷下の接着層両端の応力状態は、応力集中が応力波の到達直後に生じ、その値は被着体の剛性に大きく依存することを示した。
- ⑤接着層の粘弾性の性質を考慮すれば、接着層両端の応力集中が軽減され、被着体を引き離す方向に作用する引張応力は接着層の長軸方向のせん断応力より大きくなり、またせん断応力は引張応力より早く減衰することを明らかにした。

これを要するに、著者は、構造用接着継手が信頼性の高い結合法として採用されるためには不可欠な応力特性を新たに開発した合理的・効率的な接着要素を用いて明らかにし、有益な新知見を得ており、構造力学および構造設計学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。