

# 論文の要旨

題目 中実円柱および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手の応力解析と強度推定に関する研究  
(A Study on Finite Element Stress Analysis and Strength Prediction of Stepped-lap Adhesive Joints of Solid and Hollow Cylinders)

氏名 答島 一成

接着接合は自動車や宇宙産業、ロボットなどのあらゆる場面で利用が拡大している。特に炭素繊維などの新材料やマイクロマシンなどの新技術の中で接着接合の重要性が増大している。しかし、接着接合に関しての信頼性はいまだ高いとは言えない。そのため機械構造物などへの利用は、それほど進んではない。接着接合を機械装置に利用する場合、継手の強度がどのようになるのか、設計諸元をどのように決定するのかなど、設計指針の確立が急務である。中実や中空の円形断面を有する段付き接着継手は、円形であることから加工コストの低減や量産化に対応しやすく、軸対応ということから機械構造物への採用が大いに期待される。しかし、これまでの研究で角状断面を有する段付き重ね合わせ接着継手に関する研究はなされているが、円形状断面のものについては、あまりなされていない。本研究では円形状断面の段付き重ね合わせ接着継手に関し、被着体の材質、接着層の縦弾性係数、接着層の厚さ、段付きの勾配であるスカーフ角、段数がどのように接着部の応力特性に影響を与えるのかを有限要素法 (FEM) を利用して明らかにした。また解析結果や実験データを用い、継手の強度を推定し、実験により検証した。これにより、円形状断面の段付き重ね合わせ接着継手の軸強度の推定方法の確立と設計指針を示した。以下全 7 章よりなる。

「第 1 章 結論」では、接着継手に関する従来の研究を展望し、問題点を明らかにした。接着継手の接着層界面角部には特異性が発生するが、従来の研究では接着界面の応力分布、特に特異性に関する研究が十分ではないこと、および継手強度に関する研究も十分でないため、いまだ実用上重要部位に接着継手を使用することが困難であることを指摘した。角状段付き重ね合わせ接着継ぎ手に関してはいくつかの研究がなされるようになってきたが、円形状断面の段付き重ね合わせ接着継手は、いまだ十分なされていないことを指摘した。そこで本研究の目的は、円形状中実および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手の応力解析と継手強度予測であることを示した。さらに、このような接着継手と強度特性が明確化されることにより、接着継手の利用の拡大が進み、工業上大きな意義があると、本論文の目的を示した。

「第 2 章 引張り荷重を受ける中実円柱段付き重ね合わせ接着継手の有限要素法応力解析と強度推定」では、同種材料被着体による段付き重ね合わせ接着継手に引張り荷重が作用する場合は、円形断面の外径角部で最大主応力が最大値になること、および突合せ部接着界面で最大主応力が最大になることが分かった。このことから継手の破壊は突合せ部外径角部の接着界面で生じるものと推測された。その際に接着層の厚さを小さく、スカーフ角を大きく、段数を大きくすることで最大主応力の最大値が減少し、継手の強度が増すことが分かった。さらに有限要素法弾性解析で得られた継手の破壊応力は実験結果とかなりよく一致し、本研究での有限要素法応力解析の妥当性が示された。

「第 3 章 引張り荷重を受ける異種材料被着体による中実円柱および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手の有限要素法応力解析と強度について」では、異種材料被着体による段付き重ね合わせ接着継手に引張り荷重が作用する場合、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手では外径角部、中空円筒段付き重ね合わせ接着継手では外径角部と内径角部に特異性 (最大主応力が最大値を示すこと) が生じることが分かった。また弾性係数の高い被着体側の突合せ部接着界面で最大主応力が最大になることも分かった。このことから継手の破壊は中実円柱段付き重ね合わせ接着継手では外径角部で、また中空円筒段付き重ね合わせ接着継手では外径角部あるいは内径角部の剛性の高い側の被着体の接着界面で生じるものと推測された。中実円柱段付き継手および中空円筒段付きのどちらの場合も、下部被着体と上部被着体の縦弾性係数の比を 1 に近づける方が、最大主応力の最大値が下がり強度が向上する。接着層の縦弾性係数は大きく、接着層の厚みは小さくすることで強度が向上する。スカーフ角に関しては、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手の場合は  $75^\circ$  のときが一番小さいが、これ以上大きくしても顕著な効果はない。中空円筒段付き重ね合わせ接着継手の場合は外径角部については中実と同じ傾向だが、内径角部では逆の傾向を示す。段数に関して、中実円柱

の場合、段数が増加するほど最大主応力の最大値が小さくなる。中空円筒の場合、外径端の最大主応力の最大値は段数が増えると減少する。しかし内径端では逆の特性を示し、最大値が  $N=2$  の場合が最も強度が高いという結果が得られた。さらに実験結果と有限要素法解析結果はかなりよく一致し、本研究での有限要素法応力解析の妥当性が示された。

「第4章 曲げモーメントを受ける同種被着体材料による中実円柱および中空円筒段付き重ね合わせ 接着継手の有限要素法応力解析と強度について」では、同種材料被着体による段付き重ね合わせ接着継手に曲げモーメントが作用する場合、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手とも外径角部突合せ部の引張側で最大主応力が最大値になることが分かった。また接着層ではなく接着界面で最大主応力が最大値を示すことから、破壊は接着界面で生じることが推測された。このことから曲げモーメントが作用する継手の破壊は、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手とも突合せ部の引張側の接着界面で生じると推測された。接着層の縦弾性係数に関しては、大きいほど特異応力が小さくなり、継手の強度が増す。特異応力は中実円柱段付き重ね合わせ接着継手、中空円筒段付き重ね合わせ接着継手のどちらの場合も外径端で発生することがわかった。接着層厚さは小さいほど継手の強度が向上する。スカーフ角に関しては、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手とも  $63^\circ$  のときに最大主応力が一番小さいが、影響は顕著ではない。段数に関しては中実円柱段付き重ね合わせ接着継手の場合も中空円筒段付き重ね合わせ接着継手の場合も、増加するほど特異応力が小さくなる。さらに実験結果と有限要素法解析結果はかなりよく一致し、本研究での有限要素法応力解析の妥当性が示された。

「第5章 曲げモーメントを受ける異種被着体材料による中実円柱および中空円筒段付き重ね合わせ 接着継手の有限要素法応力解析と強度について」では、異種材料被着体による段付き重ね合わせ接着継手に曲げモーメントが作用する場合、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手とも外径角部突合せ部の引張側で最大主応力が最大値になることがわかった。また、接着層ではなく接着界面で最大主応力が最大値を示すことから、破壊は接着界面で生じることが推測された。その際に縦弾性係数の大きい被着体との接着界面の最大主応力の最大値がより大きいことより、曲げモーメントが作用する異種材料継手の破壊は、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手とも突合せ部の引張側の接着界面、それも縦弾性係数の大きい側の接着界面で生じるものと推測された。被着体の縦弾性係数比について、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手のどちらの場合も、この比が1に近づくほど特異応力が小さくなり強度が向上することがわかった。接着層厚さに関しては、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手のどちらの場合も減少するほど接着界面角部近傍に発生する最大主応力の最大値が小さくなり、継手の強度が向上する。スカーフ角に関して、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手のどちらの場合も、大きい方が最大主応力の最大値が減少し、強度が向上する。段数に関して、中実円柱段付き重ね合わせ接着継手および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手のどちらの場合も大きくすると最大主応力の最大値が減少し、強度が向上することが分かった。さらに実験結果と有限要素法解析結果はかなりよく一致し、本研究での有限要素法応力解析の妥当性が示された。

「第6章 円形状段付き重ね合わせ接着継手の設計への指針」では、同種および異種材料被着体の中実円筒および中空円筒段付き重ね合わせ接着継手を設計製作する際の設計への指針をまとめた。

「第7章 結論」では

- (1) 引張荷重と曲げモーメントの負荷形態の差異
- (2) 中実、中空、および角状の場合の断面形状による差異
- (3) 同種の場合と異種の場合の被着体の縦弾性係数比による差異

などが、段付き重ね合わせ接着継手の応力特性に及ぼす影響について解析を行い、設計指針として提案したこと、および軸強度の推定の実証実験を行ったことなどをまとめている。

最後に今後の課題として、円形状段付き重ね合わせ接着継手の利用拡大を挙げ、そのための複合荷重やねじりトルク、繰返しによる疲労破壊や熱負荷への対応研究の必要性を述べている。

以上