

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560082

研究課題名（和文） 静的および衝撃荷重を受けるナノコンポジット接着接合の特性改善

研究課題名（英文） Characteristic improvement on adhesive joints including nano-composite under static and impact loadings

研究代表者

澤 俊行 (TOSHIYUKI SAWA)

広島大学・大学院工学研究院・特任教授

研究者番号：60107216

研究成果の概要（和文）：

ナノ充填物を有する接着継手の接着層界面及び充填物周縁における応力分布に関して研究を行った。得られた結果は以下である。ナノ充填物を有する接着剤バルク材の応力-ひずみ線図を測定し、これらを用いて接着継手の応力分布を求めた。接着継手はナノ充填剤の添加により接着界面端部で発生する特異応力が減少する。接着-焼きばめ併用継手の応力解析、強度の検討を行ったが、ナノ充填物添加の著しい効果は見いだせなかった。

研究成果の概要（英文）：

The studies on the interfaces stress distribution and the stress distributions around fillers in adhesive joints including nano-composite are conducted. The results obtained in this study are as follows. The stress-strain curves of the adhesive including nano-composite are measured. The stress distributions are analyzed using obtained s-s curves. The singular stress at the edge of the adhesive is decreased when the adhesive joint is included the nano-composite. The stress analysis and strength on the bonded shrink-fitted joints are conducted. The effect of including the nano-composite on the strength is not seen.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：機械工学、応力解析、接着接合、ボルト締結体

科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学

キーワード：接着接合、ナノ粒子、焼きばめ継手、ナノコンポジット

1. 研究開始当初の背景

軽量化のため接着剤や高分子材料を金属材料からできている機械構造物や部品に用いようとする研究が多くなされるようになり、かつ航空機を初め多くの実際の構造物に適用されて効率的に使われるようになってきた。しかし接着剤や高分子材料は金属に比べて圧倒的に剛性が低いため、機械の主要部位

に使われ難い。さらに衝撃的荷重が作用するときの挙動と特性評価および耐久性評価が十分とはいえず、更なる接着剤および高分子材料の使用の発展には至り難い。この原因は接着剤を機械構造物に使用するとき界面に異常に高い特異応力が発生するためであり、特異応力が発生する位置から破壊が予想外に小さい荷重で発生する。この原因は被着

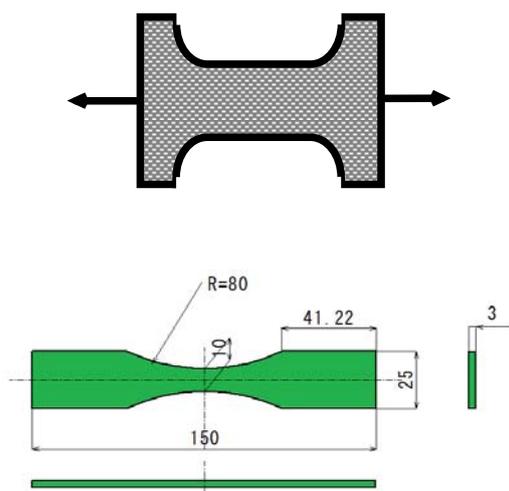
体（部品）と接着層の剛性（主に縦弾性係数）比が大きいためである。これを克服する手法は接着剤中に縦弾性係数の比較的大きい充填物を添加することであると推測される。

2. 研究の目的

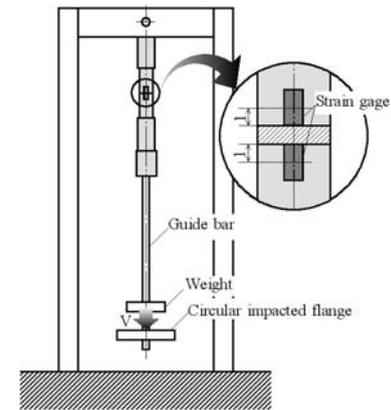
自動車車体に接着接合を使用する場合には通常走行時の静的強度保持のほかに衝突時に車体が形態維持する必要がある。このため接着接合の静的強度と並んで衝撃的強度特性の把握が自動車をはじめ実際の機械構造物や部品への適用には必要である。そのためには接着剤に要求される性能は静的には剛性が高く、衝撃的特性としては衝撃エネルギー吸収能力が高いこと、すなわち大きなひずみ特性を持つことである。このような接着剤の開発とともに、実際の接着接合に適用し、静的および衝撃強度特性の改善と向上を図ることを目的としている。従来の世界の研究では全くなされてないのが現状である。本研究課題では、ナノ剤の重量比率に対するコンポジット接着剤の静的強度特性と荷重速度に対する特性を調べ、次に実際の接着継手に適用し、接着継手の強度特性がどの程度改善されるかを調べる。

3. 研究の方法

1) 酸化アルミニウム・CNF・ナノクレイのナノ材料を従来のエポキシ系あるいはアクリル系接着剤に重量比 0%、2%、5%、10% 及び 20% 添加し、ダンベル型試験片による静的引張り荷重下及び衝撃的荷重下でのひずみ速度依存性を考慮した基本特性を実験的に測定し把握する。静的引張り試験では、インストロン型材料試験機を用い静的引張り荷重を作用させ、衝撃引張り試験では、落錘型衝撃試験機を用いて、衝撃引張り荷重を作用させる。

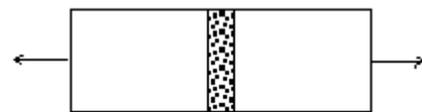


コンポジットダンベル型試験片

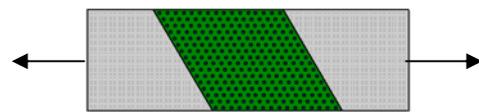


落錘型試験装置の概要

2) 一般的な接着継手形態である、ナノ接着剤を用いた突合せ接着継手及びビスカーフ接着継手の静的荷重下及び衝撃的荷重下での特性を実験的に把握し、ナノ重量比が各種接着継手の破壊強度に及ぼす影響、すなわち継手強度向上を調べる。

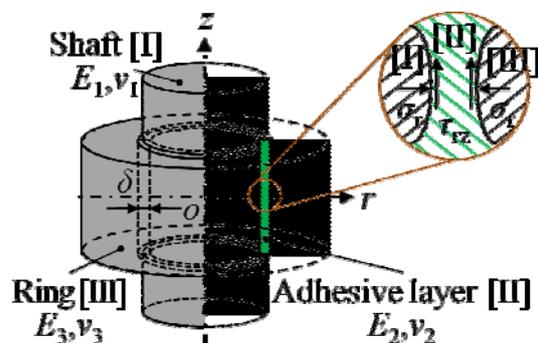


ナノコンポジット突合せ接着継手



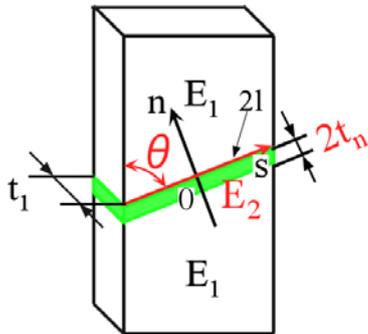
ナノコンポジットスカーフ接着継手

3) ナノ充填物を適用した接着-焼ばめ接合体接合体の静的荷重下及び衝撃的荷重下での、破壊強度を検討するために、インストロン型材料試験機及び落錘型衝撃試験機を用いて静的及び衝撃試験を行った。



ナノコンポジット接着-焼ばめ接合体

4) 測定されたひずみ速度を考慮したナノ充填物を添加した接着剤バルク試験片の応力-ひずみ線図を用いて、実際の接着接合構造に静的及び衝撃荷重が作用したときの接着接合面における応力分布と応力伝播状態あるいは破壊強度を、有限要素法を用いて解析した。解析によって推定される破壊強度と実際に測定された破壊強度を比較し、本解析の妥当性を示す。



有限要素法に用いた解析モデルの一例
(スカーフ接着継手の場合)

4. 研究成果

本研究では、接着層内にナノ充填物を有する接着継手に静的及び衝撃荷重が作用するときの接着層界面及び充填物周縁における応力分布に関して研究を行った。得られた結果は以下のとおりである。(1)酸化アルミニウム・CNF・ナノクレイの三種類のナノ充填物を有する接着剤バルク試験片を用いて応力-ひずみ線図を測定した。図1はナノ充填物として酸化アルミニウムを各重量比で添加したエポキシ系接着剤バルク試験片の応力-ひずみ線図を示す。酸化アルミニウムを充填物とした場合、添加重量比が大きいほど接着剤バルク試験の見かけの縦弾性係数が大きくなることが分かった

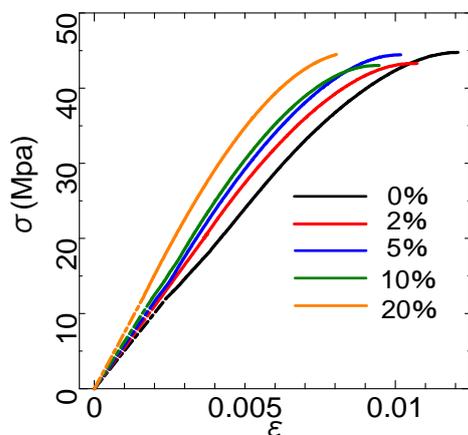


図1 接着剤バルク試験片の応力-ひずみ線図
(酸化アルミニウムを添加した場合)

(2) 測定した接着剤バルク試験の応力-ひずみ線図を用いて、突合せ接着継手、スカーフ接着継手、および円筒状接着-焼きばめ併用継手に対する三次元有限要素法応力解析を行い、接着界面の応力分布を求めた。

(3) 引張り荷重を受けるナノ充填剤を有する突合せ接着継手の場合には二次元弾性論を用いて接着界面及びナノ充填物周縁での応力解析も行った。図2は静的引張り荷重を受ける接着継手の接着界面端部に発生する特異応力を示す。この結果、突合せ接着継手の場合にはナノ充填剤の添加により接着界面端部で発生する特異応力がかなり減少することが分かった。ナノ充填剤添加はマイクロ充填剤添加より効果があることも判明した。図3は解析結果から推定される破壊強度及び実験結果の比較を示す。推定結果と実験結果がかなりよく一致することも示された。

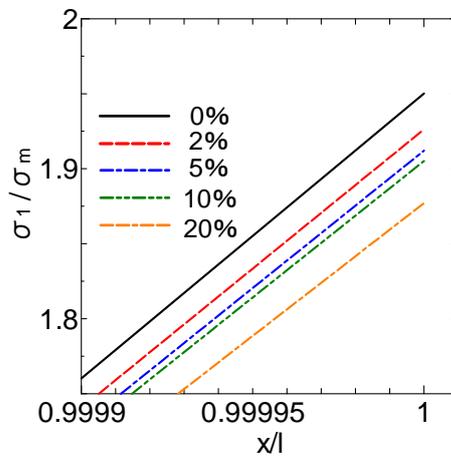


図2 接着界面端部における応力分布

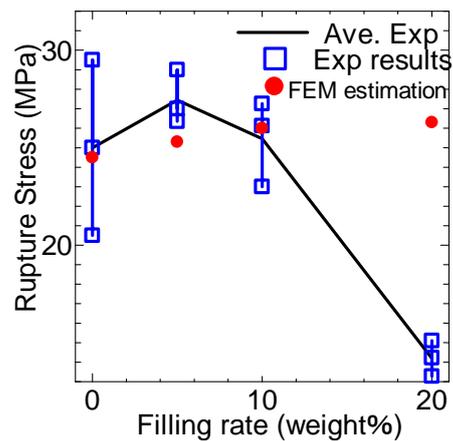


図3 破壊強度に関する推定結果と実験結果の比較

(4) スカーフ接着継手の場合にもナノ充填剤を添加したモデルでの界面応力および充填物周縁での応力を三次元有限要素法解析によって求めた。その結果、界面両端部で発生する特異応力(最大主応力)はナノ充填剤

添加により小さくなることが示された。マクロ充填剤に比べて効果が大きいことも分かった。さらにスカーフ角は約 60° でスカーフ接着継手の強度が最大になることも示された。図 4 はナノ充填物を含んだスカーフ接着継手の破壊強度に関する推定結果と実験結果の比較を示す。推定結果と強度測定実験結果はかなりよく一致した。

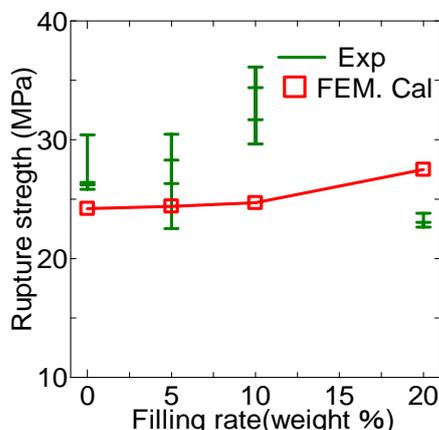


図 4 破壊強度に関する推定結果と実験結果の比較

(5) 図 5 は焼ばめ継手、接着-焼ばめ併用継手及びナノ充填物を含んだ接着-焼ばめ併用継手の破壊強度に関する実験結果及び解析からの推定結果を示す。実用上使用が期待される接着-焼ばめ併用継手の嫌気性接着剤の中にナノ充填剤を添加した併用継手に関する応力解析および継手強度に関する検討を FEM 計算および実験の両面より行い、併用継手の有効性が示されたが、ナノ充填物添加の著しい効果は見いだせなかった。

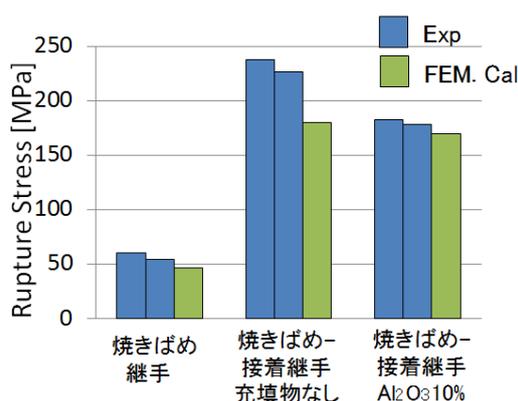


図 5 破壊強度に関する推定結果と実験結果の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Hiroko Nakano, Yasuhisa Sekiguchi, Toshiyuki Sawa, FEM stress analysis and strength prediction of scarf adhesive joints under static bending moments, International Journal of Adhesion & Adhesives, 査読有, Vol. 44, 2013, pp166-173.
2. 中野博子, 関口泰久, 沢俊行, 静的引張り荷重を受ける同種材料被着体によるスカーフ接着継手の三次元有限要素法応力解析と強度について, 日本接着学会誌, 査読有, 49 巻, 2013, pp82-91.
3. 中野博子, 関口泰久, 沢俊行, 静的曲げモーメントを受けるスカーフ接着継手の三次元有限要素法応力解析と強度評価, 日本接着学会誌, 査読有, 48 巻, 2012, pp229-236.

[学会発表] (計 6 件)

1. H. NAKANO, Y. SEKIGUCHI, T. SAWA, STRESS ANALYSIS AND STRENGTH EVALUATION OF SCARF ADHESIVE JOINTS SUBJECTED TO STATIC BENDING MOMENTS, EURADH2012, 16-20 Sep 2012, Friedrichshafen Germany.
 2. H. NAKANO, Y. SEKIGUCHI, T. SAWA, STRESS ANALYSIS AND STRENGTH EVALUATION OF SCARF ADHESIVE JOINTS SUBJECTED TO STATIC TENSILE LOADINGS, EURADH2012, 16-20 Sep 2012, Friedrichshafen Germany.
 3. H. NAKANO, Y. SEKIGUCHI, T. SAWA, STRESS ANALYSIS AND STRENGTH EVALUATION OF SCARF ADHESIVE JOINTS SUBJECTED TO IMPACT TENSILE LOADINGS, EURADH2012, 16-20 Sep 2012, Friedrichshafen Germany.
 4. T. SAWA, S. TANABE, T. KOBAYASHI, K. KOTAJIMA, Y. SEKIGUCHI, Two-Dimensional FEM Stress Analysis of Adhesive Butt Joints Filled with Nano-Composite in Adhesive Subjected to Static Tensile Loading, 2011 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 11-17 Nov 2011, Denver USA.
 5. 田部正悟, 関口泰久, 中野博子, 天摩勝洋, 沢俊行, 静的引張り荷重を受ける接着層内にナノ充填物を有する異種被着体突合せ接着継手の応力解析, 山梨講演会, 2011 年 10 月 22 日, 山梨大学.
 6. 田部正悟, 沢俊行, 答島一成, 関口泰久, 天摩勝洋, 静的引張り荷重を受ける層内にナノ充填物を有する突合せ接着継手の応力解析と強度推定, 第 49 回日本接着学会年次大会, 2011 年 6 月 17 日, 愛知工業大学.
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
澤 俊行 (TOSHIYUKI SAWA)
 広島大学・大学院工学研究院・特任教授
 研究者番号: 60107216

(2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :