

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14150

研究課題名(和文)接着剤固有の強度を合理的に評価する試験法の確立に関する研究

研究課題名(英文) Establishment of the most suitable method to evaluate the adhesive strength

研究代表者

野田 尚昭 (NODA, Nao-Aki)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40172796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、接合端に現れるISSFに関して、SLJがDLJと同一強度を得られる条件について調べた。まず、被着材厚さ(t_1)がISSFへ及ぼす影響を調べた。 t_1 が十分大きい時にSLJの変形が抑えられるためSLJのISSFの最小値が得られる。次に、SLJとDLJが同一強度を得る条件を調べた。 $t_1=7\text{mm}$ のSLJを用いることで、JISでのDLJの強度を得た。 $t_1=25\text{mm}$ の時、SLJの強度はDLJの強度にほぼ等しい。また接着強度試験において、 t_1 を6.9mmにしたSLJ試験片を製作し、せん断引張試験を行った結果接着強度が元の値の2～2.3倍になることを実証し、Kの低下と対応した結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, the equivalent conditions of SLJ and DLJ are investigated in terms of the intensity of singular stress field (ISSF) appearing at the interface end. First, the ISSF is investigated under the same load and different adherent thicknesses (t_1). The minimum ISSF of SLJ can be obtained when t_1 is large enough. Then, the strength equivalent conditions for SLJ and DLJ are investigated by changing the specimen geometry. The results show that the strength of the DLJ in JIS ($t_1=1.5\text{mm}$) can be obtained by using the SLJ with $t_1=7\text{mm}$. Since the deformation of SLJ is large, it is necessary to use the specimen with higher adherent thickness. When the $t_1=25\text{mm}$, the strength of SLJ is almost equivalent to DLJ. In the adhesion strength test, SLJ specimen with t_1 of 6.9mm is manufactured and subject to sheartensile test. As the result, the bonding strength is about 200%-230% of the conventional value and the corresponding result of the decreasing strength field is also obtained.

研究分野：材料力学

キーワード：接着 界面 接着強度 強度 破壊 特異応力場 破壊力学

1. 研究開始当初の背景

自動車ボディ鋼板や航空機用アルミニウム板の接合など構造用接着剤利用の高度化並びに接着剤性能向上への動きは着実に進展しているが、接着剤強さの代表的試験『引張せん断強さ』に関してJIS規格 (K6850) をそのまま適用すると、測定値に大きな差異が生じ (250%以上)、接着剤固有の強さ (規定の試験方法において、接着剤・被着材により定まる強さ) を評価していないという実用的に極めて深刻な課題がある。

2. 研究の目的

本研究では、JIS規格の方法を基準に、ばらつきの主因とみられる被着体の強さ、寸法および負荷方法等を抜本的に見直して、接着剤固有の強度評価法の確立を目指す。そのために、異材境界端部に存在する解析的に特異な問題を解明した申請者等提案の数値解析法を、本課題に適用することを試みる。

3. 研究の方法

研究を次の3つに分けて進めた。

【研究】: 新たな破壊条件評価法の確立とその検証、

【研究】: JIS規格で、接着剤強さ測定法として規定されている代表的な方法である単純重ね合わせ継手 (SLJ)、二重重重ね合わせ継手 (DLJ) それぞれの破壊条件による評価差を10%以下にできる試験方法の究明、

【研究】: 新しい接着強度試験法の提案

それぞれの研究において以下の手順で研究を進めた。

【研究】: FEMを用いて最弱部である接合端における特異応力場の強さ K_{σ} が、接着接合継手の引張せん断強さ σ_B の支配要因になっていることを実証する。

既存の引張せん断強さ試験結果を対象に特異応力場の強さ K_{σ} を検討し、破壊条件評価法の合理性を実証する。

FEMを用いて試験片厚さ t_1 と接着界面の角度 θ の大きさの関係及び、特異応力場の強さ K_{σ} と接着界面の角度 θ の大きさの関係を求める。

【研究】の (a) において、試験片厚さ h をどの程度まで大きくすれば K_{σ} や θ の変化を小さくできるのかを考察する。

【研究】: 接着強さへの変動要因として、(a)試験片の寸法(接着剤厚さ h 、被着材厚さ t_1 、試験片長さ l_1)、(b)接着接合範囲(l_2)、(c)引張着力点の位置、(d)拘束条件、(e)被着材材質を考える。それぞれについて特異応力場の強さ K_{σ} への影響度合を明らかにする。

SLJとDLJとにおける K_{σ} が一致する条件を究明し、その差が10%以下にできる条件を明らかにする。

【研究】: 解析結果に基づく新試験法の妥当性を実際の『引張せん断強さ』試験(被着材として合金鋼を用いる)によって検証する。研究成果の整理、取りまとめ及び成果発表を行う。併行して論文投稿の準備をすすめる。

4. 研究成果

(1)本研究では、 K_{σ} を用いて「引張せん断強さ」を合理的に評価できることを追加考察した。具体的には、JIS規格による接着部の被着材厚さよりも厚く曲がりにくく工夫された試験片を用いた Park 等の実験に対し

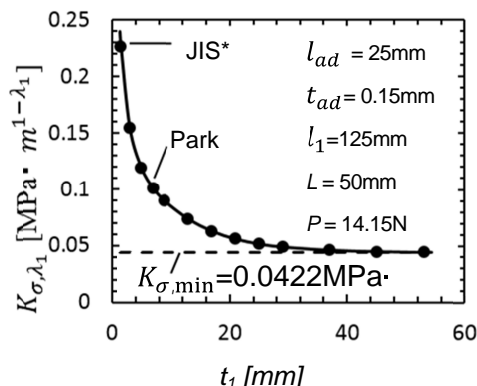


図1 特異応力場の強さ K_{σ, λ_1} と t_1 の関係

て、特異応力場の強さに基づく解析を進めた。その結果、接着層厚さを0.15~0.9mm、接着長さを20~50mmと大きく変化した場合に67%変動する平均引張せん断強さを±10%以下の変動幅で評価できることを明らかにした。また、 K_{σ} が最小値に収束し安定化するため必要な被着材厚さ t_1 を求めることができた(図1)。併行して、 K_{σ} と接着層端部における被着材の曲がり角 θ との関係を解析して K_{σ} への θ の関連性を示した。

(2) 接着強さの代表的な試験「引張せん断強さ」の中で主に使われる簡便な単純重ね

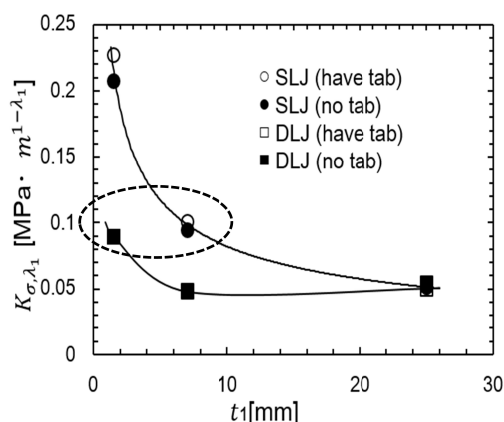


図2 SLJとDLJが同一強度を得られる条件

合わせ継手 (SLJ) による強度を、よりせん断強さの評価に近い試験片、二重重ね合わせ継手 (DLJ) による強度に等しくするための SLJ 試験条件を究明する。これまでの研究では、強度評価を接着面当たりの破断応力 σ_c に代って、申請者等提案の特異応力場の強さ ISSF の限界値 $K_{\sigma c}$ を用いることの妥当性を示してきた。本評価法に基づき、SLJ で得られる $K_{\sigma c}$ 値を DLJ から得られる $K_{\sigma c}$ 値を等しくするためには、SLJ に用いる被着材の厚さを 1.5mm から 7mm に厚くし、接着層端部の接着面外曲りを DLJ 並にすることで実現できることを明らかにした (図 2)。さらに、被着材試験片端部の掴み部形状の影響を調べ、その効果を確認できた。

(3) SLJ と DLJ との比較に止まらず、接着継手のせん断強さを求める観点からみれば、JIS に基づく DLJ といえども曲がりの影響が残っており、曲がりを理論上 0 にする ($K_{\sigma c}$ を最小にする) ための方法も追及する。そのため、被着材を更に厚くする検討を進めている。

(3) これ迄の研究で明らかにしてきた、「SLJ と DLJ の K_{σ} 値を等しくするためには、SLJ の被着材厚さを 1.5mm (JIS) から 7mm に厚くし、接着層端部の接着面外曲りを DLJ 法並にする」に基づいて簡便で実用的な SLJ 試験に注目した。そこで接着強度試験において、被着材厚さを 6.9mm にした SLJ 試験片を製作し、せん断引張試験を行った。試験片厚さを 1.5mm から 6.9mm に厚くすることで、これまでの解析により元の K_{σ} (JIS) の 45% になることが分かっている。SLJ 引張強度試験の結果、被着材厚さを 1.5mm から 6.9mm にすることで、接着強度が元の値の 200% ~ 230% になることを実証し、 K_{σ} の低下と対応した結果が得られた。ひきつづき、ISSF を最小にできる被着材厚さ 25mm の SLJ 試験片を作成し、強度実験を行う準備を進めている。

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 14 件)

野田 尚昭, 王 澤鋒, 飯田 和樹, 佐野 義一, 宮崎 達二郎, 引張を受ける異材接合管と異材接合板の特異応力場の強さの比較, 材料, 査読有, Vol.65, No.6, 2016, pp.1-8

野田 尚昭, 内木場 卓巳, 植野 雅康, 佐野 義一, 飯田 和樹, 王 澤鋒, 王国輝, Convenient Debonding Strength Evaluation for Spray Coating Based on Intensity of Singular Stress, ISIJ International, 査読有, Vol.55, No.12, 2015, pp.2624-2630, <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-458>

野田 尚昭, 宮崎 達二郎, 李 戎, 内木場 卓巳, 佐野 義一, 高瀬 康, Debonding Strength Evaluation in Terms of the Intensity of Singular Stress at the Interface Corner with and without Fictitious Crack, International Journal of Adhesion and Adhesives, 査読有, Vol.61, 2015, pp.46-64, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.04.005>

野田 尚昭, 内木場 卓巳, 植野 雅康, 佐野 義一, 飯田 和樹, 王 澤鋒, 王国輝, 特異応力場の強さに注目した 溶射被膜の簡便なはく離強度評価法, 鉄と鋼, 査読有, Vol.101, No.7, 2015, pp.8-14, <https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.101.358>

野田 尚昭, 王 澤鋒, 任 飛, 李 戎, 宮崎 達二郎, 小田 和広, 高瀬 康, 佐野 義一, 飯田 和樹, 張 玉, Several Solutions of Intensity of Singular Stress Useful for Evaluating Bonded Strength, International Journal of Fracture Fatigue and Wear, 査読有, Vol.3, 2015, pp.32-37

小田 和広, 高畑 洋介, 野田 尚昭, 堤 紀子, 接着接合板の端部特異応力場の強さと微小界面縁き裂の応力拡大係数との関係, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.82, No.829, 2016, pp.1-12, <https://doi.org/10.1299/transjsme.15-00557>

李 戎, 野田 尚昭, 佐野 義一, 宮崎 達二郎, 飯田 和樹, 高瀬 康, Evaluation of Adhesive Strength Based on the Intensity of Singular Stress Field of Single Lap Joint, International Journal of Fracture Fatigue and Wear, 査読有, Vol.4, 2016, pp.99-103,

王 澤鋒, 野田 尚昭, 佐野 義一, 高瀬 康, 飯田 和樹, Convenient Devonding Strength Evaluation for Spray Coating

Based on Intensity of Singular Stress, International Journal of Fracture Fatigue and Wear, 査読有, Vol.4, 2016, pp.104-108

宮崎 達二郎, 野田 尚昭, 佐野 義一, 接合丸棒の引張りと曲げの解析および特異応力場の強さの比較, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.82, No.842, 2016, pp.1-12
<https://doi.org/10.1299/transjsme.16-00222>

宮崎 達二郎, 野田 尚昭, 任 飛, 王 澤鋒, 佐野 義一, 飯田 和樹, Analysis of intensity of singular stress field for bonded cylinder and bonded pipe in comparison with bonded plate, International Journal of Adhesion and Adhesives, 査読有, Vol.77, 2017, pp.118-137,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.03.019>

野田 尚昭, 李 戎, 佐野 義一, 高瀬 康, 高木 怜, 宮崎 達二郎, 単純重ね合わせ継手を用いて二重重ね合わせ継手と同一強度を得る方法について, 設計工学, 査読有, Vol.52, No.10, 2017, pp.621-628,
<https://doi.org/10.14953/jjsde.2016.2725>

Li Rong, Liang Bin, Noda Nao-Aki, A convenient adhesive strength prediction method for adhesive butt joint in terms of the critical stress intensity factor, Gongcheng Lixue/Engineering Mechanics, 査読有, Vol.34, No.11, 2017, pp.218-224,
<https://doi.org/10.6052/j.issn.1000-4750.2016.06.0497>

宮崎 達二郎, 野田 尚昭, 佐野 義一, 単純重ね合わせ継手に固有の2つの特異応力場の強さを求める実用的解析法について, エレクトロニクス実装学会誌, 査読有, Vol.21, No.2, 2018, pp.166-17,
<https://doi.org/10.5104/jiep.21.166>

野田 尚昭, 李 戎, 佐野 義一, 高瀬 康, 高木 怜, 宮崎 達二郎, How to obtain the adhesive strength for double lap joint by using single lap joint, Journal of Physics, Vol.843, No.1, 2017, pp.1-6,
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/843/1/012006>

〔学会発表〕(計7件)

飯田 和樹, 接着層厚さが小さい場合における接着接合板および接着接合丸棒の応力特異性強さ, 日本材料学会九州支部第2回学術講演会・総会, 2015

野田 尚昭, 接着層厚さが小さい場合における突合せ継手の応力特異性強さ, 日本機械学会 M&M2015 材料力学カンファレンス, 2015

野田 尚昭, Analysis of Intensity of Singular Stress Field for Bonded

Cylinder (Analysis of Intensity of Singular Stress Field for Bonded Cylinder), Forth Joint-Symposium on Mechanics of Advanced Materials & Structures (国際学会), 2015

野田 尚昭, 曲げを受ける接合丸棒の特異応力場の強さの解析について, 日本機械学会 M&M2015 材料力学カンファレンス, 2015

李 戎, Equivalent Conditions of Strength for Single Lap Joint and Double Lap Joint, 日本材料学会九州支部第3回学術講演会(中国・九州支部合同研究会), 2016

李 戎, How to obtain the adhesive strength for double lap joint by using single lap joint, DAMAS2017 (国際学会), 2017

宮崎 達二郎, Evaluation of debonding strength of single lap joint by the intensity of singular stress field, DAMAS2017 (国際学会), 2017

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.mech.kyutech.ac.jp/fracture/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 尚昭 (NODA, Nao-Aki)
九州工業大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40172796

(2) 研究分担者

宮崎 達二郎 (MIYAZAKI, Tatsujiro)
琉球大学・工学部・准教授
研究者番号: 10363657

高瀬 康 (TAKASE, Yashushi)
九州工業大学・工学部・技術専門職員
研究者番号：30508445

(3) 連携研究者
()

研究者番号：

(4) 研究協力者
()