

異材接合部界面の強度に関する研究

A study on the strength of a bonded dissimilar materials interface

千秋貞仁、村川栄一

平成11年9月

大阪大学 接合科学研究所 共同研究報告(1998年度)

異材接合(接触)部界面は、船舶・航空・宇宙・自動車その他の広い分野に存在し、構造物や部材の強度及び寿命を決定する重要な要因である。このため、繊維-樹脂、金属-樹脂、あるいはセラミックス-金属等の組み合わせによる複合材料や各種接合部界面の破壊挙動が盛んに研究されている。

(船研大阪支所における近年のGFRP研究)

まず新材の船用MR積層材について、繊維含有率と積層プライ数(板厚)をパラメータに採り、片側引張り、及び片側圧縮疲労試験を行った。それらの結果をS-N線図にまとめて破断寿命評価を行うと共に、疲労試験中の割線係数(応力-歪ループの傾き)の変化により、疲労蓄積過程を実験的に評価した。また、近年GFRPの疲労寿命予測用に提案されたモデル(ツーパラメータモデル)の適応性を検証した。さらに、17年間運航後のGFRP船の船底より切り出された試験片を用いて、片側圧縮疲労試験を行い、新材の試験結果との比較を行った。

(異種材接合界面の強度に関する研究)

この研究では異種材の組み合わせとしてまず、船舶構造材料用の鋼材と不飽和ポリエステル樹脂を接着接合した場合が対象とされており、接着界面の静的・動的強度特性を把握すること、及び接合部の強度向上を目的とした理論的研究が行われている。

異種材接合端部の応力特異性は、等方、均質、線形弾性体の静的平面境界値問題について、D. B. Bogyが応力関数に基づく数学的厳密解を与えた。その後の彼の研究により応力 σ_{ij} は(1)式に従い、その特異性を決める定数Pは(2)式の特異方程式の根より定まることが明らかにされた。

$$\sigma_{ij} \propto 1 / (r^{1-\nu}) \quad (1)$$

$$A\beta^2 + 2B\alpha\beta + C\alpha^2 + 2D\beta + 2E\alpha + F = 0 \quad (2)$$

ここに、A~Fの係数は材料と接合端部の幾何学形状による定数で、それぞれがPと材料 ν 、2の接合端部角度 θ_1, θ_2 の関数であるが、紙面の都合により具体形は省略する。また、 α, β はDundersのパラメータである。以上より接合界面が平坦な場合の応力場が求められるので、これを基本解として接合界面に微小粗度が存在する場合の攪乱変位場が満足すべき接合条件を線形重ね合わせの手法に基づいて求めた。これを満足する変位場を求めることにより、現実には粗度を有する異種材接合端部の応力特性、破壊靱性値、応力拡大係数等が精度良く求められると期待される。

A Fatigue Strength Prediction Model for Steel-Resin Co-cured Jointed Interfaces

接合界面に粗度を有する鋼材-樹脂コキュアージョイントの疲労強度予測モデル

千秋貞仁、富田康光

平成12年5月

第10回国際海洋及び極地工学会議講演論文集

鋼材と樹脂を接着接合する場合、両方の材料の表面に化学的処理を施し、これに適した接着剤を用いる方法が採用されてきた。この方法では、両被着体の表面処理を行う必要があることと、接着剤を含めた3体接合になるため2つの界面が生じる。近年、例えばエポキシ樹脂そのものを直接鋼材に接合する手法(コキュア-ジョイント)が研究開発されている。この場合は鋼材表面のみを被着処理すればよい。また接着接合と比較して、静的・疲労強度が向上する例も報告されており、接着接合と比較して作業性と強度の両方に優れる接合が期待されている。

本論文では、複合材料の疲労寿命予測モデル(2Pモデル)を拡張し、鋼材と樹脂の直接接合部の鋼材表面粗度を接合部長さが疲労強度に与える影響を予測した。その結果に基づき、鋼材-樹脂接合部の疲労強度を最適化する手法について考察した。その結果、疲労強度予測について以下の傾向が見られた。

(1) 2Pモデル鋼材-樹脂コキュアージョイントのねじり疲労寿命予測に適用可能である。

(2) 鋼材表面粗度の増加は疲労強度を減少させる傾向にある。

(3) 接合部長さの増加は、静的強度と疲労抵抗感度の両方を向上させる。

また、鋼材-樹脂コキュアージョイントのねじり静的強度は、鋼材表面粗度と接合部長さが増加すると向上する一方、疲労抵抗感度は粗度の増加により増加することから、実際の接合部を強度とコストや作業性などの制限の基で最適化する場合への本予測モデルの適用可能性についても考察した。