

氏 名	ふじ 藤 井 よし 善 みち 通
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	乙 第 22 号
学位授与の日付	平成 6 年 7 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	繊維強化複合材料の酸応力腐食に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 前川善一郎 教 授 松尾達樹 教 授 自念榮一 教 授 岩本正治

論文内容の要旨

本論文においては不飽和ポリエステルをマトリックスとして用いたガラス繊維強化複合材料 (GFRP) の酸環境下の劣化挙動における各種応力の影響について研究を行なったものである。

本論文は、5 章および緒論と結論から構成されるものであり、以下に各章の概要を示す。

第 1 章の緒論では各種環境下における GFRP の用途事例と環境破壊の事例につき説明してこの研究の背景を述べ、GFRP の環境劣化の評価方法と、現在の研究の到達点につき概説している。

第 2 章では複合材料の数々の破壊様式における樹脂の破壊じん性による影響について検討するため、破壊じん性試験、衝撃貫通試験を実施している。破壊じん性試験において、安定破壊の開始点、すなわち損傷の開始点を意味する破壊じん性値はマトリックスのじん性値に依存し、不安定破壊の開始点 (最大荷重点) に対応する破壊じん性値ではマトリックス樹脂に影響されないことを示した。層間破壊じん性値においては、マトリックス樹脂のじん性の影響が大きく現われた。衝撃貫通試験では、最大荷重点までのエネルギー値は樹脂じん性の影響を受けるが、最終破壊に相当する打ち抜き終了までのトータルエネルギーには樹脂の影響は現われていない。このように樹脂のじん性値は複合材料の破壊の開始すなわち損傷の生成に関係していることを示している。

第 3 章においては、繊維強化複合材料の静的負荷における損傷発生機構について損傷の発生を断面の顕微鏡観察から、酸環境の影響を破面の SEM 観察からそれぞれ損傷進展について説明し、酸環境の強度低下機構につき検討している。クロス GFRP は、酸環境下の引張試験で強度低下を示し、その破面は、酸応力腐食の特徴である繊維の引き抜きのない、空气中で生じる破面とは全く異なる破壊を生じることを示した。予備負荷による損傷を与えた後、酸に長時間浸漬することで引張強度が低下し、上述の引き抜きのない繊維の数は増大して、酸が損傷を通して浸透することを破面観察から示している。すなわち、クラックなどの損傷を通じて浸透してきた酸により、GFRP 中の強化材であるガラス繊維が劣化を生じ強度低下することで、GFRP 全体の強度低下が生じることを示した。また、予備負荷による損傷の発生は、マトリックス樹脂のじん性の影響を強く受け、酸浸漬後の強度に影響を与えることを示した。

第 4 章では繊維強化複合材料の損傷発生を引張試験中に発生するアコースティックエミッション (AE) を用いて検討し、静的負荷による予備損傷の影響および酸による劣化を AE を用いて検出できることを示し、材料劣化や、健全性評価の可能性を示した。予備負荷による損傷が AE に影響するかどうか、および損傷を通じて浸透した酸の影響を受けているかどうかを AE 計測の評価法の一つであるカイザー効果を用いて判定できることを示した。また、予備負荷による損傷を通じ浸透した酸によるガラス繊維の劣化に対してマトリックス樹脂のじん性の影響が大きいことを示している。すなわち、マトリックス樹脂のじん性により損傷の発生レベルが異なり、損傷を通じて浸透する酸のガラス繊維への作用に影響を与え、強

度低下が生じなくても、AE 計測により酸の影響の有無を判定することが可能で、健全性評価に有用であることを示している。

第 5 章では繊維強化複合材料の酸環境劣化におよぼす疲労損傷の影響を疲労予備負荷を受けた GFRP を用いて検討し、低変位速度による酸環境下引張試験により強度低下を調べている。疲労負荷により、GFRP 中にはクラックなどの損傷が進展し、そのクラック発生点と、酸環境強度の低下が一致した。損傷の発生は、使用したマトリックス樹脂のじん性が高いほどクラック発生までの繰り返し回数は増大した。低変位速度による酸環境下の強度結果を、マトリックス樹脂のじん性値で整理すると、クロス、マット GFRP とともに、特定のマトリックスが最高値を示し、損傷を最少とする最適なマトリックスじん性値が存在することを示した。酸環境下の引張強度は試験速度に依存し、酸環境下で低速度にて試験することでその強度は大きく低下し、環境下の実用応力レベルの推定に簡便な方法であることを示唆した。

第 6 章では繊維強化複合材料の酸環境劣化におよぼすクリープ負荷の影響を調べるために、酸および水環境下のクリープ試験を行ない、マトリックスじん性の影響、強化繊維形態の影響について検討し、長期的な寿命推定を試みている。酸および水環境下のクリープ試験では、環境による破壊様式の違いがクリープ破壊時間や、クリープ破壊ひずみに大きく現われ、クリープ中の損傷の発生にマトリックス樹脂のじん性や強化繊維が応力下の寿命に影響することを明確にした。これらのクリープ曲線より長期間の寿命予測できることを示した。

最後に第 7 章の結論において、これまで論じてきた研究の成果の統括を行なっている。

論文審査の結果の要旨

繊維強化複合材料は化学プラント等でその強度と耐食性を生かして多用されている。しかし、酸環境においては時として破壊事故を起こすなど、この分野では経験主体で学術的な研究は数少なく、その意味でこの研究は貴重である。複合材料の耐食性は主として樹脂が受け持ち、薬品中の浸漬試験により評価されている。とくに、酸環境下では強化材であるガラス繊維が劣化するため直接破壊に至る重要な問題を含んでいる。複合材料を耐食性とともに構造材として使用していくための腐食環境下の材料評価方法を確立する必要がある。本論文ではこれらの課題の解明に向けてマトリックス樹脂のじん性が破壊の開始に関係することを示し、応力によって与えられた損傷のレベルにより、酸環境中での劣化に影響することを明らかにした。損傷が酸による影響を受けるかどうかの判断は AE によりそのカイザー効果の有無で判定できることを提案している。これによると短期での判定が可能で、使用中の健全性評価にも適用できることを示したことは高く評価できる。疲労負荷後の酸中引張試験により、空気中の疲労データが酸環境条件で適用できないことを示し、環境試験の重要性を指摘している。酸環境中の低変位速度引張試験により、その強度にはマトリックスの最適じん性値が存在することを示し、機構解明の新たな指針を提供している。クリープ負荷による環境試験では空気中強度に比べ極度に低い応力での破壊が認められ応力下の試験の重要性を示している。これらの成果は耐食分野での GFRP の材料評価、設計および健全性評価の分野で大きく貢献できると期待される。

本研究に関する内容は、材料分野での国際的な学会誌である Journal of Materials Science に 1 報が印刷中、またレフリー制度のある Proceedings of the 36th Japan Congress on Material Research に 1 報が掲載されている。国内の材料分野で代表的な学会誌である材料に 3 報が掲載され、1 報が印刷中である。これらの論文はすべて申請者が筆頭著者である。

以上の結果より本論文の内容には十分な新規性と独創性ならびに高い学術的価値があることを全審査員が認めた。