

博士学位論文審査要旨

2009年2月17日

論文題目 : Effects of surface modification and water absorption on the mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites

学位申請者 : 金 孝鎮

審査委員 : 主査 同志社大学大学院工学研究科 教授 藤井 透
副査 同志社大学大学院工学研究科 教授 田中 達也
副査 同志社大学大学院生命医科学研究科 教授 大窪 和也

要旨 :

地球温暖化が喫緊の課題となる中、石油由来の合成繊維や、製造に多量のエネルギーを必要とする素材の使用抑制は時代の流れである。例えば、ジュートやケナフなど（草）麻系繊維は自動車の内装材に使われつつある。しかし、世界的規模でその需要が進めば、これらの繊維の安定供給は難しい。軽くて丈夫な竹は、木質系材料の一つとしてさまざまな形で用いられてきた。その強さの秘密は繊維にある。竹からジュートなどに代わる繊維が取り出せれば、豊富な天然資源となる。竹は① CO₂ 削減など地球環境の維持、に貢献するとともに、② その優れた特性を生かして新たな工業利用、が展開できる。特に、その優れた比強度を生かし、ガラス繊維代替として複合材料（PMC）の強化材としての応用が期待されている。しかし、竹繊維の利用は進んでいない。それは、竹繊維が撥水性のリグニンを含み、PMCの母材である不飽和ポリエステル樹脂やビニルエステル樹脂との接着が不十分であることによる。竹繊維と母材樹脂との界面接着性が不十分であれば、十分なPMC強度、機械的特性が得られない。準構造用素材として実用的なPMCを得るためには、竹繊維の取り出し以上に、繊維表面の接着特性改善は重要である。また、竹繊維は天然系で、撥水性のリグニン以外に、親水性の高いセルロース、ヘミセルロースから構成されている。そのため、実働下では吸湿・吸水し、竹繊維強化PMCの特性劣化を招く。しかし、竹繊維を対象に、その表面処理、PMCの特性に及ぼす吸水の影響等について、系統立てた研究はなされてこなかった。その結果、竹繊維強化PMCの信頼性も確立していない。

本研究はこれらを背景に、第1部で竹繊維の適切な表面処理法の開発と、同強化PMCの機械的特性を明らかにするとともに、第二部で竹繊維PMCの吸水特性についても詳細に示した。はじめに、竹繊維の処理方法として、竹繊維の抽出と連携した方法としてのアルカリ処理法（NaOH希釈水）とシランカップリング剤による竹繊維表面の活性化を試した。種々の条件下で竹繊維を処理し、①繊維そのものに及ぼす各種処理の影響、②処理による繊維／樹脂界面強度の変化・向上、③異なる方法で表面処理された竹繊維強化PMCの引張り、

曲げ特性等を調べた。繊維の表面状態は FTIR などを使って分析した。その結果、アルカリ処理により竹繊維表面のリグニンは除去され、界面濡れ性が増し、界面せん断強度も増すことが示された。適切なシランカップリング剤による化学処理では、リグニンが残存していても竹繊維表面に水酸基が導入され、樹脂との接着性が向上することが示された。これら界面接着性が向上した竹繊維を用いた PMC では、その機械的特性が顕著に向上することも明確となった。NaOH による最適表面処理法も示された。

第 2 部では、詳細な実験から第一部で示された竹繊維の表面処理法と同繊維強化 PMC の吸水特性、吸水による PMC の特性劣化について豊富なデータを示すとともに、吸水が主に繊維／樹脂界面に沿って生じることを明確に示した。そのため、耐水性向上には竹繊維の表面処理が重要であることが認識された。表面処理が不十分であれば、水は繊維／樹脂界面を伝わり、PMC の深くまで侵入すること、繊維は吸水することにより膨潤するとともに、界面強度劣化、繊維強度劣化により PMC の機械的特性が劣化するメカニズムを明らかにしている。吸水率を減らし、PMC の耐水性を上げるため、シラン処理に先立って、マーセル化処理を施すことは、界面接着性改善に有効であることも示された。最後に、竹繊維の含有率、繊維形態（短繊維／長繊維）と PMC の機械的特性との関係も明らかにした。短繊維の場合、他の繊維と同様、強度に繊維アスペクト比が重要で、最適アスペクト比（本研究では約 100 程度）の存在すること、長繊維 PMC では縦／横方向の引張り強度が 3 倍程度異なるなど、実用化に対する成型条件、竹繊維の使用法の指針を示した。

以上、本論文では、身近に、また豊富に存在する竹をバイオ資源として捉え、これより取り出した繊維が他の麻系繊維と同様に使えることを示した。そのため、適切な繊維の表面処理法を開発するとともに、これを強化材として、準構造用材料としても利用可能な高品質の複合材料が製造できることを示した。特に、耐水性の観点から、吸湿・吸水の問題を明らかにし、吸湿・吸水による PMC の強度劣化メカニズムを示すとともに、実用的 PMC を製造する道筋を明らかにした。本研究は竹の有効利用に大いに寄与すると共に、地球環境維持にも貢献すると確信する。工学的にも工業的にもその成果は大きく遡及する。よって、本論文は博士（工学）（同志社大学）の学位論文として十分価値あるものと認める。

総合試験結果の要旨

2009年2月17日

論文題目 : Effects of surface modification and water absorption on the mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites

学位申請者 : 金 孝鎮

審査委員 : 主査 同志社大学大学院工学研究科 教授 藤井 透
副査 同志社大学大学院工学研究科 教授 田中 達也
副査 同志社大学大学院生命医科学研究科 教授 大窪 和也

本論文提出者は、2006年4月に同志社大学大学院工学研究科機械工学専攻 博士後期課程学生として入学し、竹繊維を強化材、熱硬化性樹脂を母材とする環境に優しい PMC の開発のための基礎技術（繊維の表面処理）を確立した。また、実用的観点から同 PMC の特性評価と吸水問題解決手法の確立に取り組んだ。各年度において優れた成果を挙げてきた。本論文の主たる内容は、Key Engineering Materials, Vol.297-300, pp.1529-1533 (2005), Key Engineering Materials, Vol.306-308, pp.417-422 (2006), International Journal of Materials and Product Technology (2009, 印刷中) に掲載され、十分な評価を受けている。

本年1月21日（水）午前10時より約1時間半にわたって提出論文に対する学術講演会（博士論文公聴会）が開かれた。その場で種々の討議がなされたが、いずれも提出者の説明により十分な理解が得られた。さらに、講演会終了後、審査委員により学位論文に関連した諸問題について口頭試問を実施した結果、いずれも十分な学力を有することを確認した。語学に関して、英語、日本語いずれの試験にも合格している。よって、総合試験の結果は合格であると判定した。

博 士 学 位 论 文 要 旨

論文題目: **Effects of surface modification and water absorption on the mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites**

氏 名: 金 孝 鎮

要旨:

This thesis deals with the effects of surface modification, water absorption and fabricated conditions on mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites. The tensile properties and interfacial shear stress of bamboo fiber bundle according to extracting methods was presented. The diameter, tensile strength and modulus of bamboo fiber bundles were decreased by all the processes compared to untreated bamboo fibers because of fiber damages caused by chemical and physical reactions during treatment. The interfacial shear stress for chemical treated fibers was higher because of a more efficient removal of lignin and hemicellulose in bamboo fiber bundles. The interfacial shear stress of bamboo fiber bundles tends to increase with decrease of contact angle.

The surface modification of the bamboo fiber composites with alkali and silane coupling agent was studied. The surface treatment was carried out several concentrations in order to find the suitable concentration of chemical treatment. Bamboo fiber can be effectively modified by chemical treatments. Alkali and silane coupling agent bring about an active surface by some reactive groups, and provide the fibers with higher property through removal of lignin and hemicellulose. The alkali/silane treated bamboo fiber reinforced composites exhibit superior mechanical properties when compared to other surface modified fiber reinforced composites.

The influence of aged condition, wetting and drying cycles on the mechanical properties of surface modified bamboo fiber reinforced composites was estimated. The water absorption characteristics of bamboo fiber composites were studied with cycled and aged conditions. The untreated fiber composites absorbed water very rapidly reaching the saturation point was observed, where no more water was absorbed and the content of water in the composites remained the same. The increasing moisture absorption is caused by the higher hydrophilic nature of the bamboo fiber compare to the matrix and the greater interfacial area among other factors. The amount of water absorption in ultrasonic treated specimen was decreased by more effectively activation of hydroxyl group. Mercerization treatment prior to silane treatment is an effective

mean of advocating better property retention to composites exposed to moisture. The value of the water diffusion coefficient was increased as cycling process increased from 1st to 5th cyclic stage. The decrease of tensile properties was higher in untreated fiber composites expectedly, surface modified fiber composites showed the less decrease of tensile properties in cycled and aged conditions.

The effect of NaOH concentration on fiber diameter and IFSS of bamboo fiber-vinylester composites was studied. The influence of fiber volume fraction, orientation and fiber aspect ratio on mechanical properties was evaluated. The fiber diameter was decreased with increase of concentration with NaOH solution due to removing of lignin and hemicelluloses from the surface of the fiber. The reduction of fiber diameter is accelerated in higher concentration of alkali solution. The interfacial shear strength was increased according to the increasing of NaOH concentration due to the removing of lignin and hemicellulose, which lead to the increase of hydrogen bonding in the network structure of the fiber and surface roughness. The interfacial shear strength of the fiber with the matrix decreased drastically after 5% alkali concentration. The tensile strength of the composites was increased according to the increase of volume fraction due to more efficient stress transfer as the applied load. The tensile fracture surface of the longitudinally oriented composites was higher than that of the randomly oriented composites due to the longitudinally alignment of fiber in the direction of applied force.