

<Introduction>

液晶性高強度繊維は比強度・比弾性率に優れるため、防弾チョッキやヘルメットなどに利用される。高強度繊維を衣服形状で使用する場合、同じ箇所が繰返し変形を受けるために繊維の疲労特性に関する知見は極めて重要である。液晶性高強度繊維は明瞭なフィブリル構造を有し、この構造が疲労特性に影響を与えると考えられるが、未だに不明な点が多い。本実験では、液晶性高強度繊維に繰返し引張変形を付加した後、小角 X 線散乱測定及び単繊維軸方向圧縮試験を行い、液晶性高強度繊維の疲労による内部構造変化と力学特性への影響を評価した。

<Experimental>

試料として PBO 繊維 (Toyobo Co. Ltd., Zylon) 及びアラミド繊維 (Du Pont-Toray Co., Ltd., Kevlar49) を実験に供した。疲労特性を評価するために各単繊維に繰返し引張応力を付加した。PBO 繊維の繰返し応力の最大値は、破断応力の 70% ($\sigma_{\max} = 4.0$ GPa) 及び 35% ($\sigma_{\max} = 2.0$ GPa) の 2 条件、アラミド繊維は強度の 70% ($\sigma_{\max} = 2.0$ GPa) とした。その後、単繊維圧縮試験及び繰返し応力を付加した繊維に対して引張変形過程における小角 X 線散乱測定を行った。

<Results and discussion>

Fig. 1 に単繊維圧縮試験の結果を示す。PBO 繊維は、繰返し応力付加回数の増加に伴い圧縮強度が低下した。液晶性高強度繊維は分子鎖が繊維軸方向に高度に配向しているため、繊維軸方向の寸法減少に可逆的に対応できるランダムコイル構造の非晶部分などが存在しない。圧縮変形に対抗できなくなった時点で内部のフィブリルが座屈してキンクバンド形成され、圧縮破壊に至る。従って、圧縮強度の低下はフィブリル間強度の低下によるものと考えられる。一方アラミド繊維は PBO 繊維と比較してフィブリル間力が高いことが報告されており、破断強度の 70% の繰返し応力付加に対しても圧縮強度の低下がなかった。Fig. 2 に、SAXS 測定から求めた引張変形過程におけるボイドの繊維軸方向長さの変化を示す。繰返し引張応力の最大は強度の 70% に統一し、図中の数字は繰返し応力付加回数を表す。未疲労繊維の引張変形過程では、ボイドのひずみが繊維全体のひずみに対して約 10 倍であることから、引張変形過程においてボイドが繊維軸方向に拡大していることが分かった。Fig. 2 から繰返し引張応力付加の回数が増えるほど、ボイドの繊維軸方向長さが増大し、引張変形過程でのボイドの成長は減少することが分かった。

以上より、繰返し応力付加によってボイドが繊維軸方向に拡大し、フィブリル間力が低下して圧縮強度が低下したといえる。

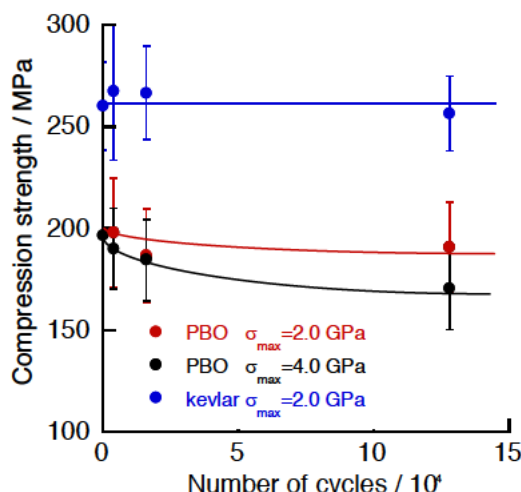


Fig. 1 Plots of compression strength versus number of cycles.

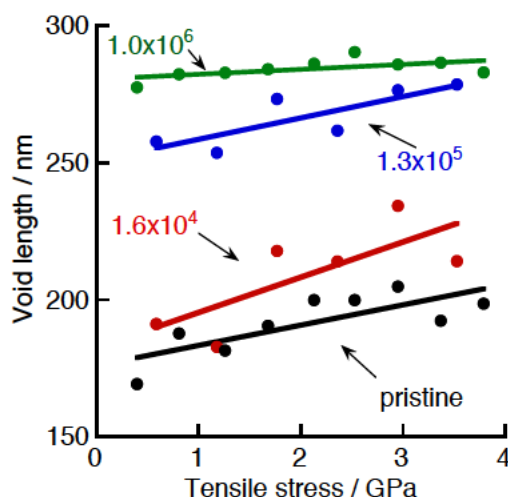


Fig. 2 Plots of void length versus tensile stress for PBO fibers.