

光硬化式 3D プリント造形物のき裂進展特性に及ぼす 多軸負荷の影響

○姫野 沙耶香^{a)}、山本 隆栄^{b)}

^{a)}大分大学 理工学部 技術部、^{b)} 大分大学 理工学部

1.はじめに

近年，光硬化方式による 3D プリント技術は，航空宇宙，医療，自動車分野における最終製品製造にも活用が広がっている．一般的に構造部材は，実際の使用環境下では単純な引張・圧縮だけではなく，ねじり・曲げを含む複雑な多軸負荷を受ける．さらに，このような負荷が繰り返し作用することで，き裂が発生・進展し，最終的な破壊に至ることが多い．しかし，多軸負荷が光硬化型 3D プリント造形物の低サイクル疲労破壊特性およびき裂進展特性に及ぼす影響についての研究例はほとんど見られない．

そこで本研究では，光硬化型 3D プリント造形物を対象としたひずみ制御の多軸低サイクル疲労試験を実施し，多軸負荷が本造形物のき裂進展特性に及ぼす影響を調べた．

2. 試験片および実験方法について

本研究で用いた，外径 12mm，内径 9mm，平行部長さ 8.65mm の薄肉円筒型試験片（図 1）は，Autodesk 社製 3D モデリングソフトウェア Fusion360 を用いてモデリングし，ELEGOO 社の Saturn4Ultra 3D プリンターにより作製した（図 1）．なお，3D プリントにおける試験片軸方向に対する積層方向は， $\theta = 0^\circ$ ， 45° ， 90° とした（図 2）．

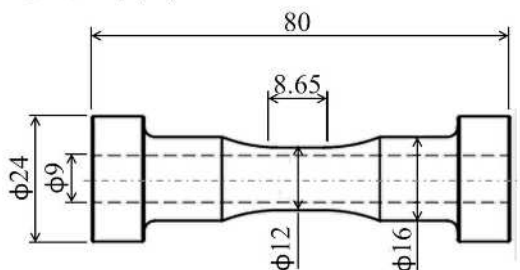


図 1. 試験片形状

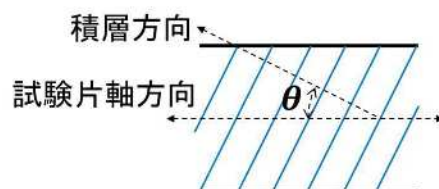


図 2. 積層方向

多軸低サイクル疲労試験は，積層方向が異なる上述の 3 種類の試験片を使用し，ひずみ制御下で実施した．

多軸状態を評価する指標として主ひずみ比 $\Phi = \varepsilon_3/\varepsilon_1$ を用い，図 3 に示す単軸負荷である引張・圧縮負荷（ $\Phi = -0.5$ ）および多軸負荷である繰返しねじり負荷（ $\Phi = -1.0$ ）の 2 種類の負荷経路を採用した．

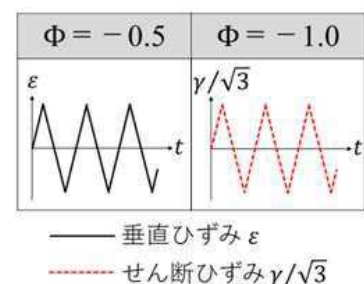


図 3. 負荷波形

3. 試験片表面の観察結果

一例として積層方向 $\theta = 45^\circ$ 試験片を用いた引張・圧縮負荷（ $\Phi = -0.5$ ）および繰返しねじり負荷（ $\Phi = -1.0$ ）の疲労試験後の試験片表面の観察結果をそれぞれ図 4 および図 5 に示す．

$\Phi = -0.5$ では試験片軸方向に垂直にき裂が進展し， $\Phi = -1.0$ では試験片軸方向に 2mm 程度進展した後， 45° 方向に遷移している．



図 4. 引張・圧縮負荷 ($\Phi = -0.5$)



図 5. 繰返しねじり負荷 ($\Phi = -1.0$)

これらのことから主き裂は、 $\Phi = -0.5$ ではモード I、 $\Phi = -1.0$ ではモード II からモード I に遷移することがわかる。

4. 試験片き裂面の観察結果

図 6 および図 7 に、引張・圧縮負荷 ($\Phi = -0.5$) および繰返しねじり負荷 ($\Phi = -1.0$) 試験後の試験片破断面の観察結果をそれぞれ示す。 $\Phi = -0.5$ 、 $\Phi = -1.0$ ともに、疲労破面に現れるビーチマーク（貝殻の年輪や波打ち際のような同心円状の模様）が観察されたが、ビーチマークの大きさ、すなわち疲労破面の大きさは、 $\Phi = -0.5$ よりも $\Phi = -1.0$ の方が大きいことがわかる。

$\Phi = -0.5$ では静水圧応力が正（引張）となり、材料内部でのボイドの成長や体積膨張が促進される。これによりクレーズが急速に発達し、早期に不安定破壊（脆性破壊）へ移行する。

一方、 $\Phi = -1.0$ では体積膨張を伴わないため、樹脂特有のボイド成長やクレーズ形成が抑制されたため、き裂が不安定化するまでにより大きなひずみや長いき裂を許容できる余裕が生じる。

以上のメカニズムにより、疲労破面の大きさが $\Phi = -0.5$ よりも $\Phi = -1.0$ の方が大きくなったと考えられる。

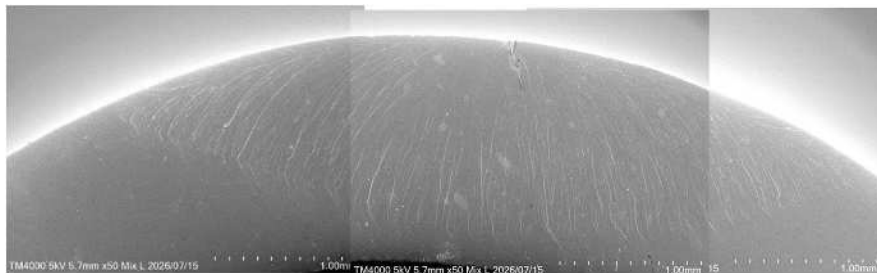


図 6. 引張・圧縮負荷 ($\Phi = -0.5$)

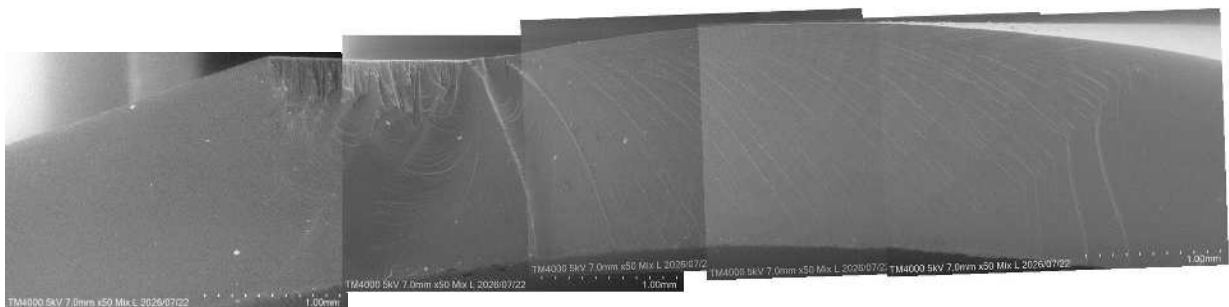


図 7. 繰返しねじり負荷 ($\Phi = -1.0$)