T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	産業用ロボットへの適用に向けた繊維強化樹脂材のクリープ変形量計測
Title(English)	Measurement of Creep Deformation of Fiber-Reinforced Plastic Materials for Application to Industrial Robots
著者(和文)	関口兼司, 塚本悠太, 難波江裕之, 遠藤玄
Authors(English)	Kenji Sekiguchi, Yuta Tsukamoto, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2024講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2024, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

産業用ロボットへの適用に向けた繊維強化樹脂材のクリープ変形量計測

Measurement of Creep Deformation of Fiber-Reinforced Plastic Materials for Application to Industrial Robots

○学　関口兼司 (東工大)　　学　塚本悠太（東工大）
正　難波江裕之（東工大）　正　遠藤玄（東工大）

Kenji SEKIGUCHI, Tokyo Tech, sekiguchi.k.ai@m.titech.ac.jp
Yuta TSUKAMOTO, Tokyo Tech
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech
Gen ENDO, Tokyo Tech

Industrial robots are required to be lightweight in order to reduce power consumption. One method to achieve this is to use plastic materials, which are lighter than metal materials, as structural materials for robots. In applying plastic materials, there is an issue of creep deformation even at room temperature. In this paper, we focus on fiber-reinforced plastic materials and measure the creep deformation of specimens reinforced with different arrangements of continuous carbon fibers and specimens made of short carbon fiber-reinforced plastic when a load is applied.

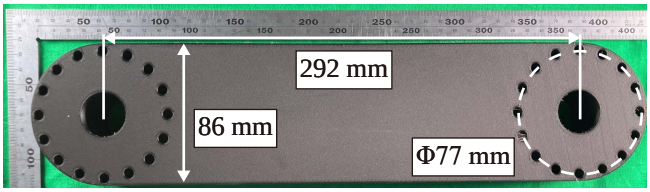
Key Words: Fiber-reinforced plastic materials, Creep deformation, 3D printer

1　緒言

近年，産業用ロボットは消費電力を低減するために軽量化が求められている．その方法の 1 つとして，ロボットの構造材を金属材料から樹脂材料に代替する方法がある．樹脂材料を適用する上で，物体に荷重を加えると徐々に変形するクリープ変形が課題として挙げられる．この特性は，長時間の連続使用を想定すると，マニピュレータの関節の相対位置を変化させ，エンドエフェクタの位置制御の精度低下につながる．これまでに，片持ち梁の端点集中荷重条件下における，繊維強化樹脂材料のクリープ変形量の計測が行なわれてきた [1]．しかし，充填率や強化繊維の配置が，どの程度クリープ変形の抑制に寄与するかについては，ほとんど知られていない．加えて，不連続炭素繊維強化樹脂材料のクリープ変形量も明らかになっていない．そのため本研究では，充填率や連続炭素繊維 (CF) の配置を変えて強化した試験片と不連続炭素繊維強化樹脂の試験片を製作し，荷重を加えた際のクリープ変形量を計測する．

2　試験片

試験片の形状と CF の配置を図 1 に，材質，充填率，CF の配置，造形時間，質量を表 1 に示す．試験片の厚さは 45 mm とする．Onyx+CF は，短い炭素繊維で強化されたナイロン樹脂である Onyx に，CF を加えることで強化した樹脂材料である．スライスソフトは Eigar (Markforged Inc.) を使用し，3D プリンタは X7 (Markforged Inc.) を用いて造形した．その時の条件として，積層ピッチは 0.125 mm，充填構造は三角形，8 層のソリッドレイヤ，2 層のウォールとした．タフジットは，不連続炭素繊維とナイロン樹脂から成るランダム炭素繊維強化熱可塑プラスチック (CFRTP：Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics) シート素材を積層した後，熱プレス成形するという工程で製作されるため，賦形性が優れている [2].



(a) Shape of the specimen

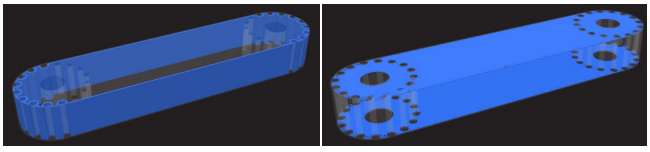

(b) Outer shell　(c) upper and lower surfaces

Fig.1 Shape of the specimen

Table 1 Specimen properties

材質	充填率	CF の配置	造形時間	質量 [g]
Onyx+CF	37%	外壁 2 周	3d 10h	682.8
Onyx+CF	55%	外壁 2 周	4d 6h	878.8
Onyx+CF	55%	外壁 4 周	4d 20h	943.9
Onyx+CF	55%	上下 4 層	3d 18h	849.0
Onyx+CF	55%	上下 8 層	3d 23h	870.5
タフジット	-	-	-	1900

3　実験装置

3.1　実験条件

図 2 に示す片持ち梁の端点集中荷重構造である実験装置を用いた．固定部から先端部までの距離 292 mm に質量 42.08 kg の重りを加え，試験片のクリープ変形量をレーザ変位計 (Keyence Co., Ltd., LK-H150，LK-G5000) を用いて計測した．これは，最大リーチ 1000 mm の産業用ロボットが水平姿勢で 12.3 kg の重りを持ち上げると仮定して設定した．

また，試験片の固定端は SUS 製の固定治具に M4 ネジで締結している．試験片にある 16 等配の通し穴に，締め付けトルク 3.6 Nm で締結している．Onyx+CF は，提案された締結方法を適用した [3]．通し穴の直径を 6.2 mm とし，内径 4.0 mm，肉厚 1.0 mm の SUS304 の薄肉円筒を通し穴に挿入し，薄肉円筒の内側にネジを通して締結している．この締め付け方法は，樹脂材料に大きな圧縮力が作用するため，ネジが樹脂材料に沈み込むことを防いでいる [3]．タフジットは，通し穴の直径を 4.2 mm に設定し，通し穴に直接ネジを挿入して固定した．加えて，貼り付け用重りで調整した 10.52 kg の重りを 4 つ (計 42.08 kg) 用いて，試験片に荷重を加えている．

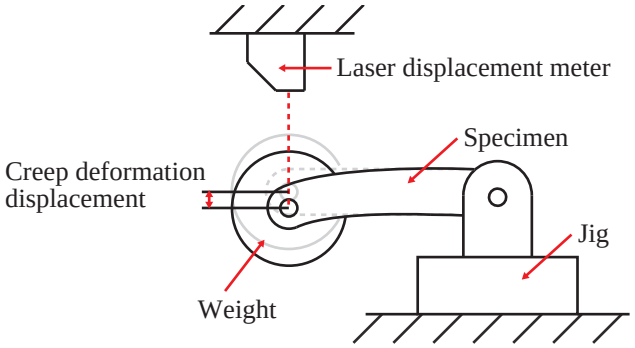


Fig.2 Experimental setup

3.2 温度条件

温度変化は，クリープ変形だけでなく，計測に用いたレーザ変位計の測定にも影響を与える．そのため，試験機の外周に保温槽を設置し，ヒーターで温風を循環させることで，庫内温度が 25 °C になるよう温度管理を行った．

3.3 計測手順

計測手順を以下に示す．

1. 試験片を M4 ネジを用いて固定治具に取り付け，締め付けトルク 3.6 Nm で固定する．その後，試験機本体に取り付ける．
2. ジャッキで支えながら，重りを試験片先端部に取り付ける．
3. 温度管理機器の電源を入れ，試験機内部の温度が 25 °C に安定するまで待機する．
4. レーザ変位計の電源を入れ，4 時間以上待機する．
5. 温度計とレーザ変位計の測定を同時に開始し，重りを支えているジャッキを外して，計測を開始する．

4 予備実験

レーザ変位計は，計測値がドリフトする特性があり，各々のレーザ変位計によってドリフト量が異なる．そのため，温度管理を行った環境下で，ドリフト量を計測する必要がある．予備実験として，固定したアルミフレームの上面をレーザ変位計を用いて測定した．固定されたアルミフレームの上面の変位，保温槽内の温度，レーザ変位計のヘッド表面温度を 200 時間 (約 8 日間) にわたり時系列データとして取得した．図 3 に各レーザ変位計で得られた変位の時系列変化を示す．図 4 に，各レーザ変位計のヘッド表面温度と庫内温度の時系列変化を示す．各レーザ変位計の表面温度変化は 0.6 °C 以内，庫内温度変化は 0.4 °C 以内であり，十分に無視できる偏差であることを確認した．結果から，時間の経過とともに一定の割合でドリフトしていることが確認できた．そこで，最小二乗近似を行い，単位時間当たりのドリフト量を表 2 に示すように取り，補正値として本試験の結果に反映した．

5 本試験の結果

図 5 は，庫内温度とレーザ変位計のヘッド表面温度の測定結果である．温度偏差は約 0.4 °C 以下であったため，温度変動は抑えられていると言える．図 6 は，約 175 時間の変位の測定結果である．重りを支えているジャッキを取り外すのに数分かかったため，最初の試験片のジャッキを取り外して 15 分後の測定値をベースラインとした．

タフジットは，ごくわずかな変形と言える．また CF を外壁方向と表裏面に配置した場合を比較すると，外壁方向に配置した場合の方が変形量が小さいと言える．これは，CF が荷重方向に対して直交するように配置されていることから，クリープ変形の抑制に寄与していると考えられる．また，充填率の違いによるクリープ変形量の明確な違いは見られなかった．

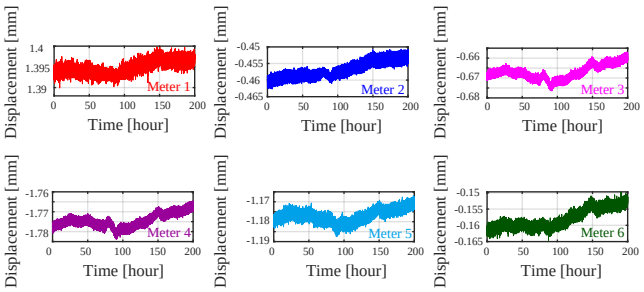


Fig.3 The displacement result of the preliminary experiments

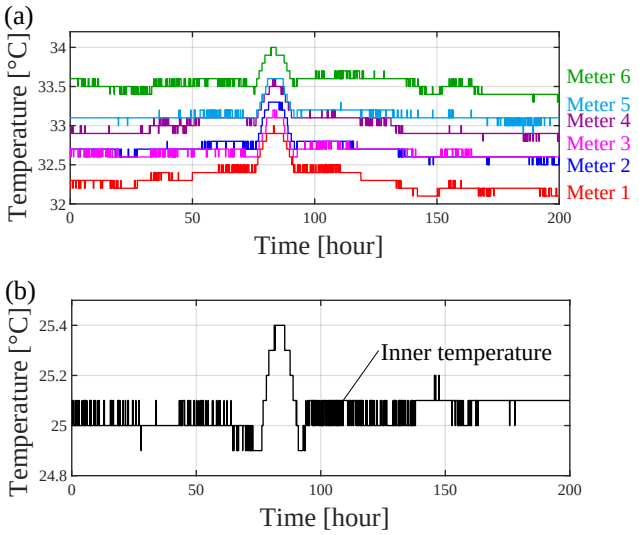


Fig.4 The temperature measurement result of the preliminary experiments (a) Head surface temperature of each laser displacement meter (b) inner temperature

Table 2 Measured displacement drift for calibration

Meter No.	Drift [μm/100 hour]
1	1.8
2	4.0
3	3.8
4	3.6
5	2.5
6	4.6

6 結論

本論文では，片持ち梁の集中荷重条件下でクリープ変形量を計測する実験装置を用いた．試験片として，強化繊維の配置を変えて強化した Onyx+CF と，タフジットを使用した．実験結果から，タフジットは Onyx+CF と比較して，クリープ変形量が小さかった．また Onyx+CF の中でも，CF を外周方向に配置した場合の方が，クリープ変形量が小さかった．しかし測定期間が短いため，今後も計測を継続していく必要がある．

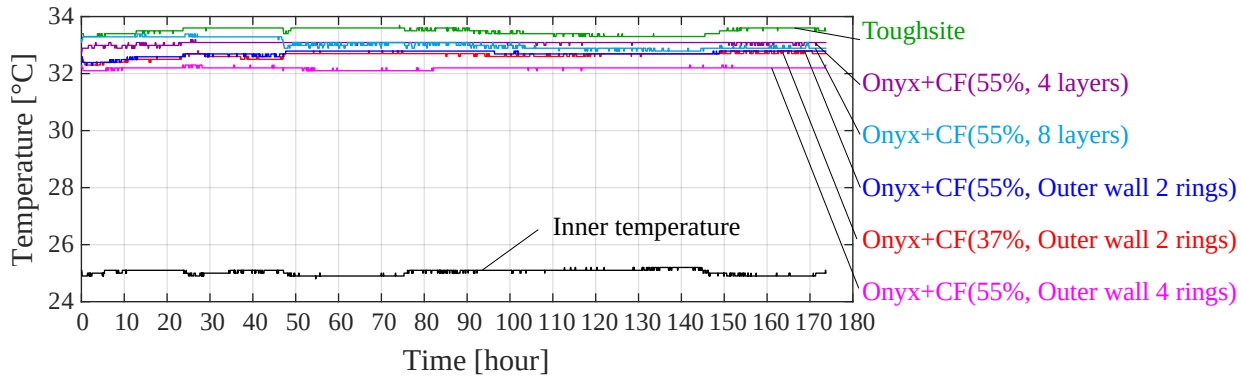


Fig.5 The temperature measurement result of the experiment

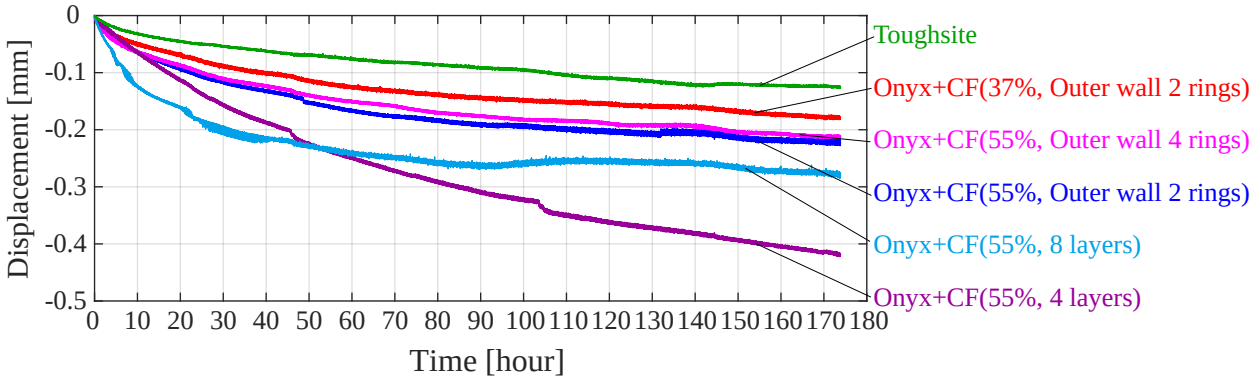


Fig.6 The displacement result of the experiment

7 謝辞

本研究は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の 助成事業（JPNP20016）の一環として行われたものである．また，本論文は，技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構との共同研究の成果であり，技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構が共有著作権を有している．タフジットの試験片は，荒井政大教授 (名古屋大学) から提供を受けました．加えて貴重なコメントをいただきました武居直行教授（東京都立大学）太田祐介教授（千葉工業大学），高木健教授（広島大学）に感謝いたします．

参考文献

[1] Y. Tsukamoto, K. Sekiguchi, H. Nabae and G. Endo, "Measurement of Creep Deformation of Resin Structural Parts for a Lightweight Industrial Robot," 2024 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), Ha Long, Vietnam, 2024, pp. 592-597, doi: 10.1109/SII58957.2024.10417463.

[2] (Accessed: Feb 26, 2024) フクビ化学工業株式会社, "タフジット", https://fukugouzai.com/toughsite/

[3] Endo, Gen and Tsukamoto, Yuta and Nabae, Hiroyuki and Takaki, Takeshi, "Proposal of a Fastening Method for Deformable Plastic Parts and Rigid Metal Parts," International Symposium on System Integration (SII), pp. 1-6, 2023, DOI: 10.1109/SII55687.2023.10039451.