

ADAM方式積層造形物の強度評価に関する研究

都知木邦裕* 南部洋平*

A Study on strength of Structures Processed by Atomic Diffusion Additive Manufacturing (ADAM)

TOCHIKI Kunihiro*, NAMBU Yohei*

抄録

当センターで導入したADAM方式の金属3Dプリンタ Metal X Systemでは、造形物の内部を格子状にして軽量化することが可能である。一方で、その内部構造や、積層方向が強度に与える影響に関しては十分な知見が得られていない。本研究では、本装置で扱える材料のうち17-4PHステンレス鋼に着目し、試験片を作製して万能材料試験機で引張試験を行った。積層方向や内部構造を変化させて機械的特性を比較し、内部構造が強度へ与える影響や異方性について調査した。

キーワード：金属3Dプリンタ，積層造形，内部構造，強度評価

1 はじめに

当センターでは、令和2年度にADAM (Atomic Diffusion Additive Manufacturing) 方式の金属3Dプリンタ Metal X System (Markforged社製) を導入した。本装置は、造形、脱脂、焼結の3つの工程を経て造形物を作製する。

造形においては、内部構造を中実構造や三角形の格子構造 (以下、格子構造) にすることができる。造形物の内部を格子構造にすることで軽量化することが可能である。ただし、格子構造の詳細な寸法については、専用のソフトウェアでも確認することができない。そのため、現状では格子構造の影響を考慮した強度を造形前に把握することが難しい。また、樹脂の3Dプリンタは積層方向による顕著な異方性が確認されている^{1),2)}。本研究ではADAM方式の金属3Dプリンタについて内部構造が強度に与える影響と異方性について実験的に調査した。

2 実験方法

2.1 装置概要

本研究で使用した Metal X System の装置外観を図1に、仕様を表1に示す。本装置は造形装置、脱脂装置、焼結装置で構成される。造形装置で金属粉と結合剤を混合したフィラメント状の材料を高温のノズルで押し出しながら造形し、脱脂装置で結合剤を除去し、焼結装置で焼結して金属製の造形物を作製する。

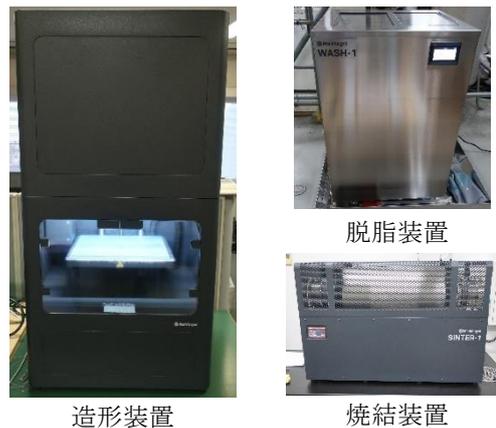


図1 装置の外観図

* 機械技術担当

表1 MetalX System 装置仕様概要

造形サイズ※1	300mm×220mm×180mm
積層ピッチ	125μm
使用可能な材料	<ul style="list-style-type: none"> ・17-4PHステンレス鋼 (SUS630相当) ・純銅 ・インコネル625 ・工具鋼 (H13、A2、D2)

※1 造形可能であっても焼結装置に収まらない場合がある。当センターの焼結装置 (Sinter-1) で焼結可能なサイズ (焼結後) は235mm×68mm×65mmである。

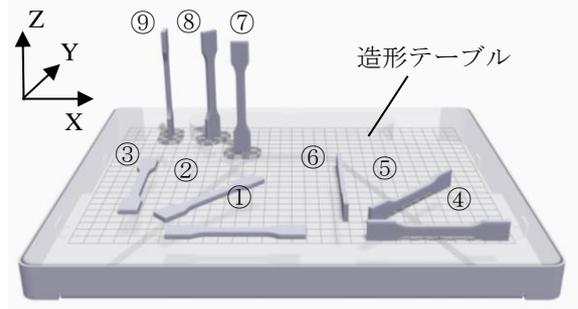


図3 造形時の姿勢

2.2 試験片

本研究で使用した試験片の形状を図2に示す。JIS Z2241 の 14B 号の板状試験片に準じた形状とした。材料は 17-4PH ステンレス鋼 (SUS630 相当) を採用した。

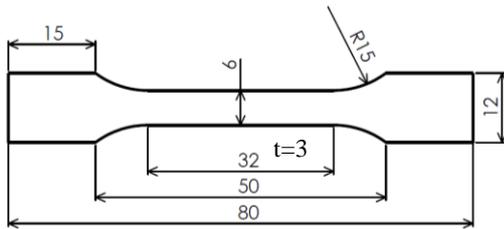


図2 試験片形状

造形時の試験片の姿勢や内部構造等の説明のため、造形テーブルを基準とする XYZ 座標系を図3のように定義する。造形時の姿勢は図3に示す①～⑨の9種類、内部構造については表2に示す3種類とし、合計27種類の試験片を作製した。

試験片の内部構造については試験片の 3D 形状データ (STL ファイル形式) を本装置専用の造形用データ作成ソフトウェア Offline Eiger に読み込み、内部構造の種類を選択すると自動生成される。内部構造は中実構造、三角形の格子構造等を選択することができる。側壁の板厚は予め用意された数種類から選択することができる。側壁の厚さはツールパスの層数によって決まる厚さで1層あたり約 0.25mm である。本研究では 1mm (4層)、0.5mm (2層) について検討した。

図4にソフトウェアで生成された造形用ツールパスを示す。三角形の格子形状の向きは XY 平面内の試験片の向きにより異なる。

表2 作製した試験片の内部構造の種類

No.	内部構造
1	中実構造 (Solid Fill)
2	格子構造 (Triangular Fill) 側壁厚さ: 1.0mm
3	格子構造 (Triangular Fill) 側壁厚さ: 0.5mm

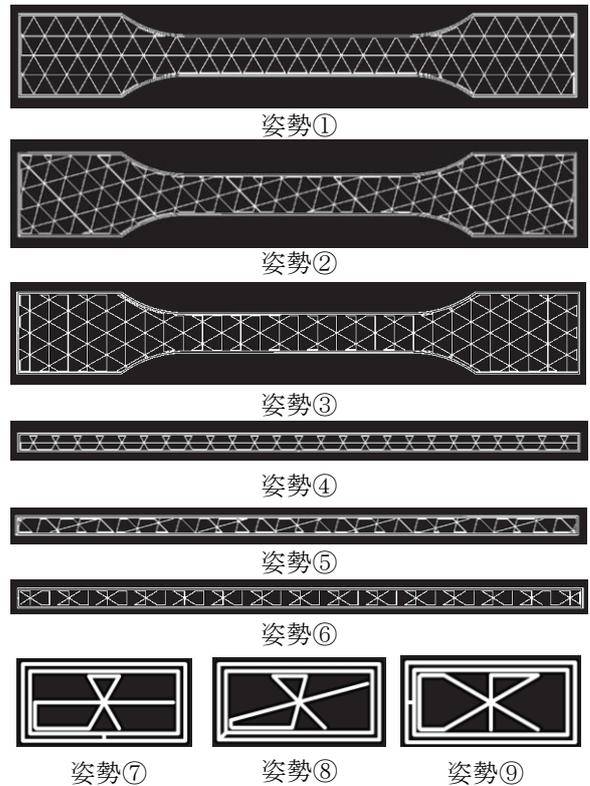


図4 造形用ツールパス

(XY 平面 試験片中央高さ付近 内部構造 No. 3)

2.3 CTによる内部観察

試験片の内部構造を観察するため、X線CT三次元測定機METROTOM800(Carl Zeiss社製)を用いて試験片を測定した。測定の結果、試験片内部に明らかな欠陥が存在しないことを確認し、引張試験を行った。

2.4 引張試験

機械的性質の測定はJIS Z2241に準じた方法で、引張試験を行った。試験機は万能材料試験機AG-250kNI(島津製作所製)及びAGX-300kNV(島津製作所製)を用いた。

3 結果及び考察

3.1 引張強さ

引張試験で得られた各造形条件に対する引張強さを図5～図7に示す。内部構造が格子構造の引張強さについては、同一の形状に対する中実構造と格子構造の強度を比較するため、引張強さを算出する際の断面積は格子構造についても中実構造と同様に外形寸法から算出した。

図5の中実構造では $920\text{N/mm}^2 \sim 1030\text{N/mm}^2$ 、図6の格子構造では $750\text{N/mm}^2 \sim 790\text{N/mm}^2$ 、図7の格子構造では $480\text{N/mm}^2 \sim 510\text{N/mm}^2$ の引張強さが得られた。いずれの内部構造も造形姿勢①～⑨までの引張強さに大きな差はなく、樹脂の3Dプリンタと比較して異方性が小さい傾向が確認された。

中実構造と格子構造の違い、また格子構造における側壁の厚さの影響を検討するため、試験片中央部の断面積と引張強さの関係を調べた。格子構造の試験片については、空隙のある格子部を除いた側壁のみの断面積とした。図8に格子部を除く断面積と各内部構造での引張強さとの関係を示す。引張強さは造形時の各姿勢で得られた結果の平均値とした。格子部を除く断面積と引張強さは概ね線形関係であることを確認した。また、線形近似した直線の切片値は、全体が格子構造の場合の引張強さを表すと考えると、格子構造部分の引張強さは中実構造の1/5程度であることが分かった。

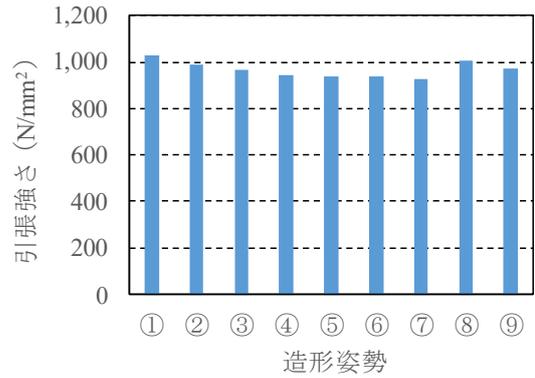


図5 引張強さ (中実構造)

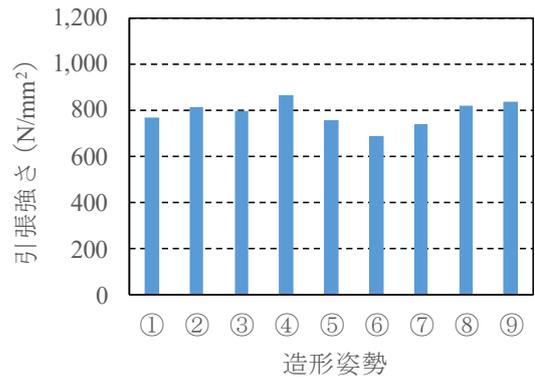


図6 引張強さ (格子構造 側壁1.0mm)

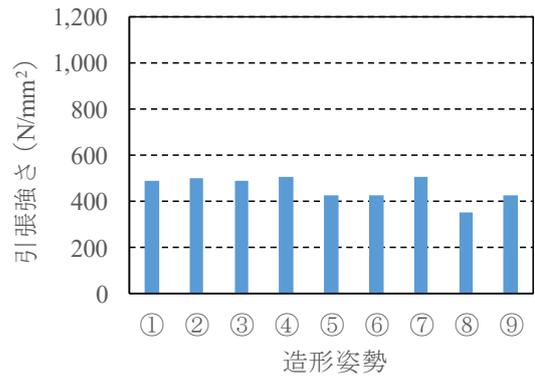


図7 引張強さ (格子構造 側壁0.5mm)

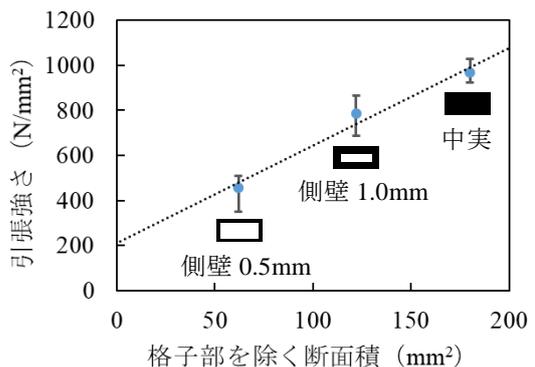


図8 引張強さと格子部を除く断面積の関係

3.2 破断伸び

引張試験で得られた各造形条件に対する破断伸びを図9～図11に示す。破断伸びは造形姿勢によるばらつきが大きいことを確認した。特に造形姿勢⑦、⑧、⑨については他の造形姿勢に比べて破断伸びが顕著に小さいことを確認した。この姿勢は引張方向と積層方向（Z方向）が一致する試験片であり、積層方向に対する引張に関して破断伸びが小さいことを表している。この傾向は、樹脂の3Dプリンタで見られた傾向^{1),2)}と一致する。

また、内部を格子構造にすることで破断伸びも小さくなる傾向があることを確認した。

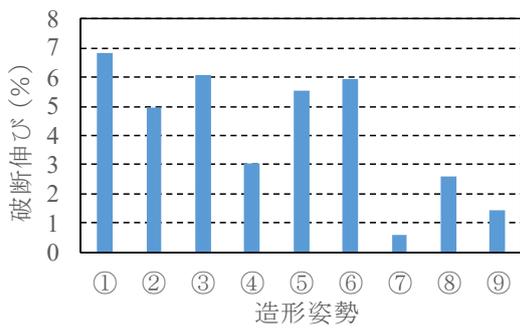


図9 破断伸び（中実構造）

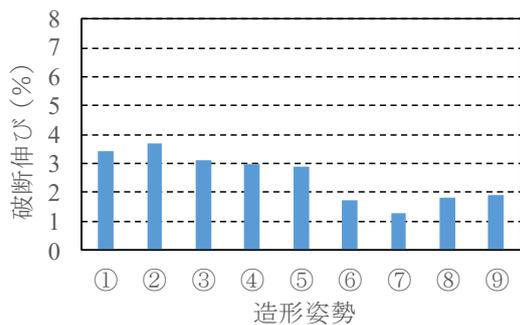


図10 破断伸び（格子構造 側壁1.0mm）

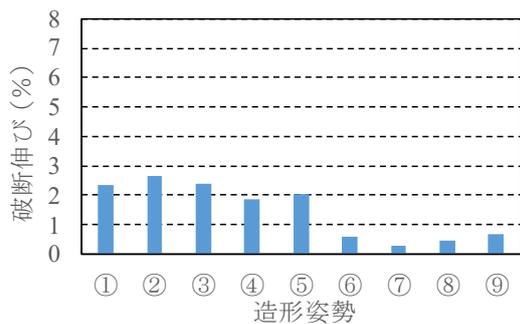


図11 破断伸び（格子構造 側壁0.5mm）

4 まとめ

ADAM方式の金属3Dプリンタを用いて作製した17-4PHステンレス鋼の試験片を用いて引張試験を行い、内部構造が強度に与える影響や異方性について調査した。

(1) 引張試験結果

引張強さについては樹脂の3Dプリンタと比べて中実構造、格子構造ともに異方性が小さいことを確認した。内部を格子構造にした場合の強度は、側壁部分の断面積と概ね線形の関係があることが分かった。

破断伸びは中実構造、格子構造ともに異方性が大きいことを確認した。特に積層方向の引張に対する破断伸びが小さい傾向があった。内部を格子構造にすることで、破断伸びも小さくなる傾向があることを確認した。

(2) 知見の活用と今後の課題

本研究で得られた知見については、本装置を使用した県内企業の試作支援の参考情報として活用していく。

今後の課題としては、曲げ強度に対する内部構造の影響の評価、新たに設定可能になった内部構造形状（ジャイロイド形状）の強度評価、内部構造を考慮した造形物の最適化設計手法の検討等が挙げられる。

参考文献

- 1) 田中拓也ほか，“積層造形物の樹脂特性情報の整備”，埼玉県産業技術総合センター研究報告，vol. 18, pp. 40-44 (2020).
- 2) 木暮尊志ほか，“粉末焼結型造形による造形物の機械的性質に対する造形方向の影響”，東京都立産業技術研究センター研究報告 vol. 8, pp. 72-75 (2013).