

3D プリントで造形した ASA 樹脂積層板の引張特性

明石工業高等専門学校 正会員 ○三好 崇夫 明石工業高等専門学校 小嶋 渉夢

1. 研究背景と目的

3D プリントを用いた土木構造部材の製造は、現場それぞれの特性に応じた造形が求められる場面では、優位性を発揮するとみられている¹⁾。近年、橋梁分野では、樹脂製の排水管に割れによる漏水も発生している²⁾。そこで、用途に応じた部材形状を都度自由に造形可能な 3D プリントの特長を活かして、損傷部を増厚した取換用の排水管を 3D CAD で設計し、3D プリントで製造することが考えられる。また、図面が残されていない排水管を交換前に現場で 3D レーザスキャニングし、3D プリントで取換材を製造することも考えられる。その実現には、3D プリントで使用されている一般的な ABS 樹脂や PLA 樹脂に代えて、耐候性に優れているとされる ASA 樹脂の採用が適切であろう。しかし、3D プリントで造形された ASA 樹脂積層材の基本的な機械的特性や、材料試験に使用するひずみゲージ用接着剤が試験結果に及ぼす影響は明らかにされていない。本研究では、3D プリントで 2 種類の ASA 樹脂積層板を造形し、引張試験によってそれらについて明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2. 1 引張試験片

JIS K 7161 に従って、直接 3D プリントで造形される 1A 形試験片、板材から切り出した 1B 形試験片の 2 種類を 5 体ずつ製作した。各試験片の公称寸法を図-1 と表-1 に示す。フィラメント樹脂には Polymaker 社の PolyLite ASA を、3D プリントには Raise 3D 社製 Pro3 Plus を使用し、試験片、板材ともノズルヘッド温度 250℃、スキャンステージ温度 95℃、スキャンスピード 45mm/sec、スキャンピッチ 0.2mm の熱溶解積層法で製造した。試験片、板材とも、樹脂でそれらの外郭を囲んだ後に、その内部の中埋め率が 100%となるように、引張軸に対して±45 度方向に交互に樹脂を積層した。1B 形試験片は、1 枚の板材から CNC フライス盤で切断、採取した。

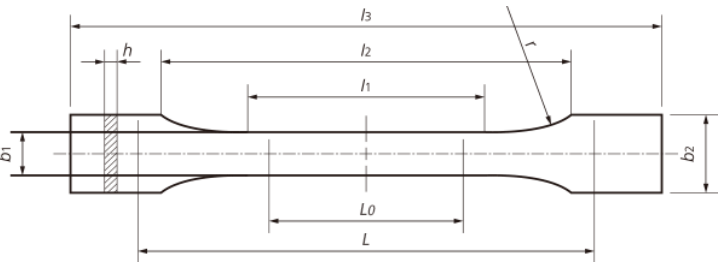


図-1 引張試験片の平面形状と寸法記号

表-1 引張試験片の寸法

試験片	1A	1B
全長 l_3 (mm)	170	≥ 150
平行部の長さ l_1 (mm)	80 ± 2	60.0 ± 0.5
半径 r (mm)	24 ± 1	60.0 ± 0.5
つかみ部間の長さ l_2 (mm)	109.3 ± 3.2	108.0 ± 1.6
つかみ部の幅 b_2 (mm)	20.0 ± 0.2	
平行部の幅 b_1 (mm)	10.0 ± 0.2	
推奨板厚 h (mm)	4.0 ± 0.2	
標点間距離 (推奨値) L_0 (mm)	75.0 ± 0.5	50.0 ± 0.5
つかみ具間距離 L (mm)	115 ± 1	

表-2 引張試験のケース

名称	ひずみゲージ等取付状況	数量	摘要
N	ビデオ伸び計のマーカー 	2	ひずみゲージによる計測なし
LT	単軸ゲージ(引張方向) 単軸ゲージ(直角方向) 	1	単軸ひずみゲージにより、引張、同直角方向ひずみを計測
L		1	単軸ひずみゲージにより、引張方向ひずみを計測
T		1	単軸ひずみゲージにより、引張直角方向ひずみを計測

2. 2 実験ケースと载荷・計測方法

ビデオ伸び計による引張方向伸びの計測に加えて、ひずみゲージ用接着剤による試験片の変形の拘束効果を把握するため、表-2 に示すように、1A、1B 形試験片に対して、引張方向、同直角方向のひずみ計測に用いる単軸ひずみゲージの有無をパラメータとする 4 系列の実験ケースを設定した。

载荷にはネジ式 1 軸試験機 (島津製作所 AGX-100kNV) を用い、载荷速度は JIS K 7161 に従ってストロークの変位で 1mm/1min とした。引張、同直角方向のいずれのひずみの計測にも、単軸ひずみゲージ (東京測器研究所 GFLB-3-70) を用い、その接着剤として東京測器研究所の CN を用いた。

3. 実験結果

3. 1 応力-ひずみ曲線

1A、1B 形試験片の別に、応力-ひずみ曲線を図-2 に示す。ひずみはビデオ伸び計で計測した伸びに基づく公称ひずみである。

図-2 より、いずれの試験片の応力-ひずみ曲線とも、明確な降

キーワード：3D プリント、ASA 樹脂積層板、ひずみゲージ用接着剤、拘束効果、引張特性
連絡先 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3, TEL：078-946-6173, FAX：078-946-6184)

伏点や降伏棚は呈さず、最大応力（引張強度）の半分程度の応力から徐々に剛性が低下しながら引張強度に到達する。1A 形試験片にあっては緩やかに剛性が低下しながら破断するのに対して、1B 形試験片にあっては直ちに破断するものもみられる。

図-3 は一例として 1A 形試験片の実験ケース L と LT について、軸方向ひずみの計測にビデオ伸び計、ひずみゲージと試験機のスローク変位を用いた場合の応力-ひずみ曲線を示している。これより、いずれのケースともビデオ伸び計とスローク変位に基づく応力-ひずみ曲線は概ね一致しているが、ひずみゲージで計測したひずみに基づく応力-ひずみ曲線は、最大応力到達前あたりからビデオ伸び計による同曲線の傾きに比べて大きく、接着剤が変形を拘束したことにより、局所的に剛性が増加している。

3. 2 機械的特性値

表-3 に引張試験から得られた機械的特性値の平均値とレンジ値（最大値と最小値の差）を試験片ごとに示す。これより、軸方向ひずみの計測方法による差はみられるが、Poisson 比、弾性係数、0.2%耐力、引張強度、破断時応力と破断時ひずみについては 1B 形に比べて 1A 形試験片が大きい。これは、前者の樹脂が引張軸に対して±45 度方向に積層されているのに対して、後者の樹脂が試験片外郭で引張軸方向にも配置されていることによる。

一例として、1A 形試験片の実験ケース N-2、1B 形試験片の実験ケース N-1 について、破断後の試験片の状況を写真-1 に示すが、前者のき裂は鋸刃状であるのに対して、後者のき裂は積層方向に平行である。

試験片、計測方法の別に実験ケースごとに弾性係数を比較して図-4 に示すが、1A、1B 形試験片のいずれも、ひずみゲージの計測値に基づく弾性係数がビデオ伸び計の計測値に基づく弾性係数に比べて大きく、ひずみゲージの接着剤が剛性の向上に寄与している証左である。図-5 は試験片、実験ケースごとの引張強度と破断応力を比較して示したものである。これより、い



(a) 1A 形試験片 (実験ケース N-2) (b) 1B 形試験片 (実験ケース N-1)

付がそれらに及ぼす明確

な影響は認められないが、いずれも積層造形による空隙や表面凹凸の影響により、表-3 に示すように、射出成型材³⁾の引張強度 43 N/mm² よりも小さい値を示した。

4. まとめ

本研究から以下の知見が得られた。

(1) ひずみゲージによるひずみの計測値には、接着剤による変形の拘束効果が含まれる。

(2) 樹脂の配置は、引張強度や剛性に大きな影響

を及ぼすが、それらは射出成型材には及ばない。図-4 弾性係数のばらつき 図-5 引張強度と破断応力

【参考文献】 1) 鈴木：トピックス 新たな複合構造への可能性 -3D プリンターの活用, JSSC, No.36, pp.15-16, 2019. 2) 白旗ら：赤外線カメラによる排水管路漏水箇所検知に関する基礎的検討, AI・データサイエンス論文集, 1 巻, J1 号, pp.392-397, 2020. 3) tm filament: products, <https://tmfilament.com/products/> (取得日: 2022 年 12 月 4 日)

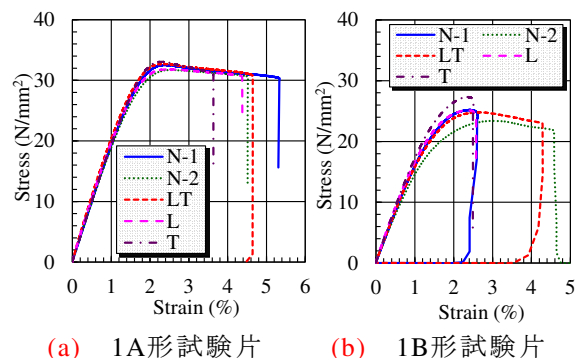


図-2 応力-ひずみ曲線

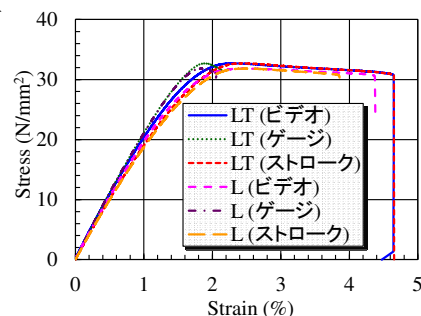


図-3 ひずみ計測法の影響

表-3 機械的特性値

試験片		1A形	1B形	試験片		1A形	1B形
Poisson比 ^{*1,2}	平均値	0.311	0.296	引張強度時 ひずみ ^{*1} (%)	平均値	2.4	2.5
	レンジ値	0.035	0.019		レンジ値	0.3	0.7
Poisson比 ^{*2}	計測値	0.337	0.348	引張強度時 ひずみ ^{*2} (%)	平均値	1.9	1.8
弾性係数 ^{*1} (N/mm ²)	平均値	2056	1741		破断時応力 (N/mm ²)	レンジ値	0.1
	レンジ値	279	251	平均値		30.4	23.5
弾性係数 ^{*2} (N/mm ²)	平均値	2280	2004	破断時 ひずみ ^{*1} (%)	レンジ値	0.9	3.5
	レンジ値	3	116		平均値	4.5	3.3
0.2%耐力 ^{*1} (N/mm ²)	平均値	27.5	19.7	破断時 ひずみ ^{*2} (%)	レンジ値	1.7	2.1
	レンジ値	3.6	5.2		平均値	2.2	1.8
0.2%耐力 ^{*2} (N/mm ²)	平均値	28.8	21.4	破断伸び(射出) (%)	レンジ値	0.1	0.5
	レンジ値	0.4	1.9		55.0		
引張強度 (N/mm ²)	平均値	32.4	25.2	【注】*1：ビデオ伸び計による縦ひずみを用いた値、*2：ひずみゲージによる縦ひずみを用いた値			
	レンジ値	1.4	3.9				
引張強度(射出) (N/mm ²)		43.0					

写真-1 破断後の試験片の状況

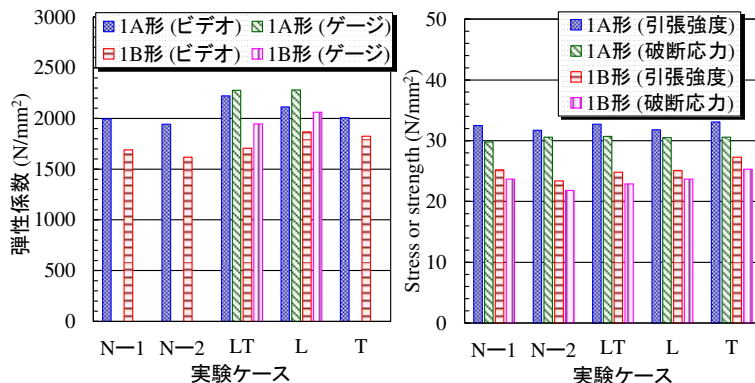


図-4 弾性係数のばらつき 図-5 引張強度と破断応力