

板厚傾斜を有する館一三浦の多面体によるオーゼティック構造の 準静的および動的荷重による圧縮試験の比較

嶋貫 研人, 富田 直*, 梅本 和彦

(2024.2.27 受理)

Comparison of Quasi-Static Compression Test and Impact Test with Auxetic Structures Based on Tachi-Miura Polyhedron with Graded Thickness

Kento SHIMANUKI, Sunao TOMITA*, and Kazuhiko UMEMOTO

Energy-absorption structures that utilize the geometry of origami are gaining attention as a method for controlling the load-displacement characteristics of structures subjected to impact. Among the various origami structures, TMP (Tachi-Miura polyhedron) based cellular structures exhibit unique mechanical properties, such as a switchable load-bearing capability through transition between collapsible and load-bearing states. This paper explores the influence of graded thickness of panels on the energy absorption performance and buckling deformation of TMP-based cellular structures under a load-bearing state in both quasi-static compression and impact tests. The cellular structures were fabricated using additive manufacturing techniques as specimens. The results from both tests indicate that buckling of the entire structure can be suppressed by inducing local buckling via thickness grading. Moreover, the TMP with graded thickness mitigated the initial peak load, attributed to the viscosity of the material with increasing strain rate.

Keywords: Origami structure, Tachi-Miura polyhedron, Auxetic structure, Energy absorption, Additive manufacturing

衝撃を受ける構造体の荷重-変位特性をコントロールする方法として、折紙の幾何学を利用したエネルギー吸収構造が研究されている。折紙構造の一つである館一三浦の多面体は、3次元空間を充填でき、運動が分岐する折畳み角が存在し、耐荷重性が変化する特性を有する。本研究では、館一三浦の多面体の幾何学に基づいた見かけのポアソン比が負のマルチセル構造において、圧縮方向の傾斜的な板厚変化を持つ試験片を3Dプリンティングで造形して準静的圧縮試験で試験片を圧潰し、衝撃試験による結果と比較することで荷重-変位特性および座屈に対するひずみ速度の影響を評価する。その結果、ひずみ速度が小さくなることで、板厚が一定のマルチセル構造は小さな変形でも構造全体が座屈してしまう一方で、板厚傾斜によって局所的な座屈を誘発することで、全体座屈を抑制できることがわかった。局所的な座屈が発生する構造により、材料の粘性に起因する、ひずみ速度の増加に伴う圧縮時に発生する初期ピーク荷重の増加を低減できる可能性が示唆された。

キーワード：折紙構造、館一三浦の多面体、負のポアソン比、エネルギー吸収、積層造形

1. 緒 言

衝突による衝撃からヒトやモノを保護するためには、衝撃を受ける構造体の荷重-変位特性のコントロールが重要となる。荷重-変位特性のコントロールの解決策として、メカニカルメ

タマテリアル (mechanical metamaterials) が持つ独特な機械特性に注目が集まっている。例えば、双安定な構造の飛び移り座屈によるエネルギー散逸^{1,2)}、負のポアソン比をもつオーゼティック構造 (auxetic structures) によるエネルギー吸収³⁾が研究されている。このようなメカニカルメタマテリアルを実現する方法として、折紙に基づいた構造があり、双安定構造⁴⁾やオーゼティック構造⁵⁾がある。折紙によるメカニカルメタマテリアルは、衝撃からの保護への応用において、衝撃負荷の初期に発生するピーク荷重を低減してフラットな荷重-変位特性を得られるという利点がある⁶⁻⁸⁾。さらに、板の曲げ加工⁹⁾や4D printingの技術^{10,11)}を導入できるというファブ리케이션

* 責任著者, Corresponding author
株式会社豊田中央研究所
〒480-1118 愛知県長久手市横道 41-1
Toyota Central R & D Labs., Inc.
41-1, Yokomichi, Nagakute, Aichi 480-1118, Japan

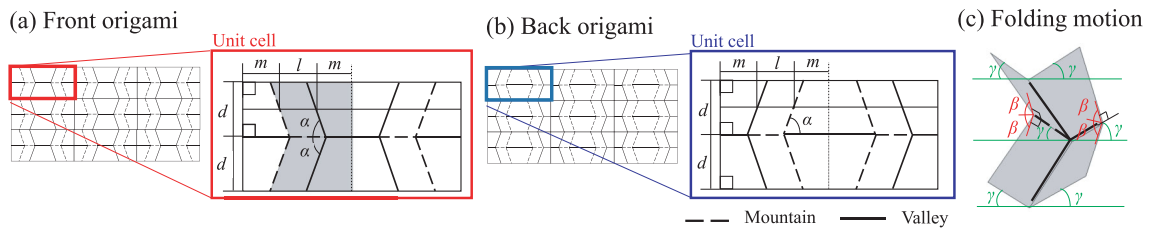


Fig. 1 Unit cell of cellular origami structure and folding motion of Miura-ori.

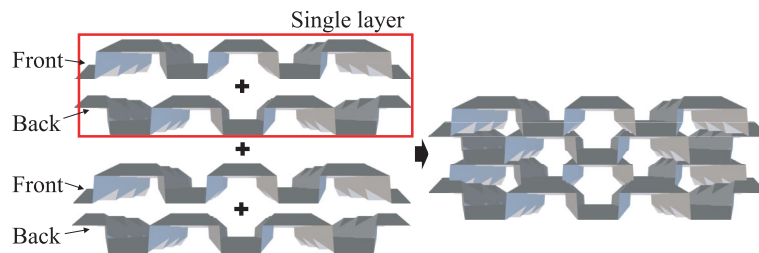


Fig. 2 Cellular structure composed of origami-sheets.

ン上の利点も有する。

折紙構造の中でも、Miura と Tachi らによって提案された館一三浦の多面体¹²⁻¹⁴⁾ (Tachi-Miura Polyhedron: TMP) は、(1)軸方向・半径方向に折畳み自由度を持つ、(2)衝撃負荷時に初期ピーク荷重が発生しない、(3)折り曲げプレスとスポット溶接によって安価に製作できるという特長がある。そのことから、自動車のエネルギー吸収構造としての適用の可能性が研究されている¹⁵⁾。Yasuda らは、TMP を周期的に空間充填したマルチセル構造体 (multicellular structures) について、幾何学形状の設計によって安定に折畳み運動が分岐する折畳み角が存在し、耐荷重性が変化することを示している¹⁶⁾。TMP の折畳み運動のうち、見かけのポアソン比が負になることで得られるオーゼティック構造は、圧縮時に横方向に収縮する運動を示す¹⁷⁾。この特性により、オーゼティック構造では、点荷重における耐圧痕性^{18,19)}、せん断変形の耐性^{20,21)}、破壊靱性²²⁾、エネルギー吸収効率²³⁾が向上する。

このような TMP の特徴をエネルギー吸収に応用するために、TMP の幾何学に基づいて設計されたオーゼティック構造のエネルギー吸収特性が評価されている^{24,25)}。実際に、車両ヘッドレストにエネルギー吸収構造として取り付け、衝突模擬試験によって、TMP の頭部障害の低減に対する有効性を示している²⁶⁾。また、オーゼティック構造において、圧縮方向に傾斜的な板厚増加を持つ試験片を作製して衝撃試験を実施し、局所的な座屈の誘発により座屈挙動を制御し、圧潰に対する応答範囲が向上できることを示した²⁷⁾。しかし、板厚傾斜構造に対して、ひずみ速度が $10^1/s$ および衝撃波が伝播する高ひずみ速度の領域のみ評価されており、低ひずみ速度 ($0.1/s$ 以下) に対する応答については十分に議論されていない。一方で、低ひずみ速度の変形が要求される応用の際には、準静的な応答が重要である。本論文では、板厚傾斜を有する TMP の荷重の負荷速度の影響を明らかにすることを目的として、TMP によって設計されたオーゼティック構造において、圧縮方向に傾斜的な板

厚増加を持つ試験片を 3D プリンティングで造形して準静的圧縮試験を行い、衝撃試験の結果²⁷⁾と比較してひずみ速度の違いによる荷重—変位特性と座屈変形の様子を実験評価する。

2. 試験片の形状設計と 3D プリンティング

見かけのポアソン比が負の TMP において、圧縮方向に傾斜的な板厚増加を持つマルチセル構造の荷重—変位特性を検証するため、圧縮試験に用いる試験片を設計し、3D プリンターを用いて造形する。

2.1 幾何学形状

TMP の幾何学形状は、Figs. 1(a) および 1(b) に示す折畳みの位相が異なる二枚の折紙からなり、平行四辺形を構成する内角 α と長さ l, m, d で定義される。これらの折紙の展開運動は、平行四辺形の内角 α と、頂点での折畳み角 β および γ を用いて、式(1)：

$$\tan(\gamma) = \tan(\alpha) \cos(\beta) \quad (1)$$

で表される [Fig. 1(c)]。これを単位セルとして構成した折紙を重ね合わせることによって、マルチセル構造を作製できる (Fig. 2)。本論文では、Figs. 1(a) および 1(b) に示す前面および後面を重ね合わせた構造を 1 レイヤーとして、マルチセル構造のレイヤーごとに板厚を傾斜させる。

2.2 基本形状の設計

2.1 節の幾何学形状のパラメータを $l=m=d=13\text{ mm}$ 、 $\alpha=65^\circ$ として 5 レイヤー重ねて構成したマルチセル構造の高さには極大値が存在し、その極大値を分岐点として、マルチセル構造のポアソン比は正と負に分岐する^{16,24)}。そこで、構造体の高さを 130 mm と設定すると、折畳み運動が異なる折畳み角である $\beta=69.16^\circ$ および $\beta=46.99^\circ$ のマルチセル構造が生成される。本論文では、折畳み角 $\beta=46.99^\circ$ のオーゼティック構造を基本形状として試験片を設計する。

2.3 試験片の設計

2.2 節で設計した基本形状に厚み付けをすることで試験片を

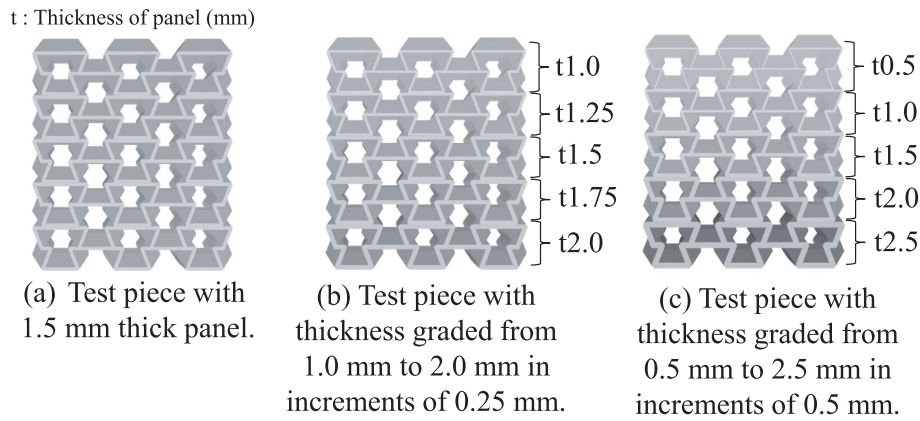


Fig. 3 Thickness distribution in test piece.

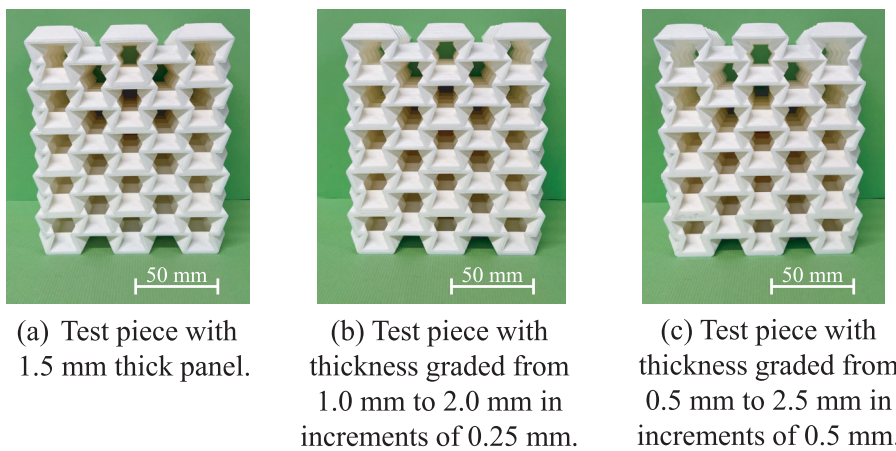


Fig. 5 3D-printed test pieces.

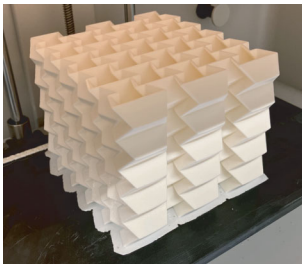


Fig. 4 Test piece on the 3D printer platform.

設計する。基本形状の各レイヤーに異なる寸法で厚み付けをすることで、折畳み角を変えずに任意の板厚を持つ TMP を生成する。すべての試験片を公平に比較するため平均板厚を 1.5 mm として、5 レイヤーすべてが板厚 1.5 mm で構成された TMP (Fig. 3(a)) を基準として、レイヤーごとに 1.0 mm から 2.0 mm まで 0.25 mm ずつ板厚を変えたもの (Fig. 3(b)), 0.5 mm から 2.5 mm まで 0.5 mm ずつ板厚を変えたものである (Fig. 3(c))。なお、3 次元形状データ (STL) の面に厚み付けには、マテリアライズ社の Magics (ver. 24.01) の「ラッピング」機能を使用する。Magics で任意の板厚を持つレイヤーを生成した後、APPLE TREE 社の FlashPrint (ver. 4.3.3) を

用いて各レイヤーの面を接触させて、一つのマルチセル構造に結合する。

2.4 3D プリンティング

2.3 節で設計した試験片を 3D プリンターで造形する。3D プリンティングは、Markforged 社の Mark Two と材料の Nylon White を使用し、実験評価する試験片を造形する (Fig. 4)。なお、造形の際に、3D プリンターのプラットフォームに対してオーバーハングが 45° を超えると、造形物にサポート材が生成されてしまう。マルチセル構造内部に生成されたサポート材の除去は困難であるため、本試験片の形状は、オーバーハングが 45° を超えないように設計している。サポート材を使用せずに造形した試験片 3 種を Fig. 5 に示す。

3. 試験方法

前章で設計した試験片に対して、ひずみ速度の違いによる荷重-変位特性を実験評価するために、準静的圧縮試験と衝撃試験を実施する。

3.1 準静的圧縮試験の試験条件

準静的圧縮試験には、インストロン社万能試験機 68TM-30 型を使用する。試験条件として、Fig. 6 に示すように試験片上下面に均一に力を作用させ、10 mm/min の速度で 70 mm 圧縮した後、同じ速度で 70 mm 除荷して試験終了とする。

3.2 衝撃試験の試験条件

比較対象である衝撃試験²⁷⁾には、空気圧を利用してインパクトを水平に発射し、試験片を圧潰した際の動的な特性として、ロードセルと高速度カメラを用いて荷重と変位を計測する装置を用いる。試験条件として、インパクトの質量を 103.15 kg、衝突速度を 3.4 m/s、4.6 m/s、6.3 m/s および 8.5 m/s に設定し、ひずみ速度はそれぞれ 26.2、35.4、48.5 および 65.4/s である。

3.3 試験片の状態管理

造形後の材料の脆性的な性質を改質するため、造形物を真空

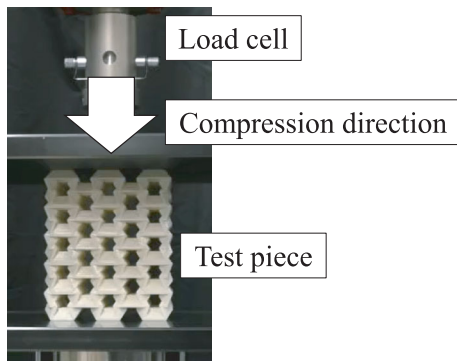


Fig. 6 Compression direction of test piece in quasi-static compression test.

乾燥機にて 80℃で 12 時間乾燥させた後、恒温水槽を用いて 50℃の湯に約 20 時間沈めて吸水し、エアブローにより水分排出し、ウェスを使って表面水滴を拭き取ったものを試験片として用いる。Tables 1-3 に、乾燥後と吸水後の試験片質量を示す。吸水前に比して、吸水後の質量のばらつきが大きい要因は、造形誤差による試験片内部にできた微細な空隙に水がトラップされ、エアブローやふき取りでは除去できなかった水分によるものと考えられる。

4. 試験結果

Figures 7-9 に準静的圧縮試験および衝撃試験における変位 40 mm までの座屈変形の様子、Fig. 10 に両試験方法による試験片ごとの荷重—変位線図を示す。なお、衝撃試験の荷重データには、衝撃試験機の荷重検出部を構成する要素の共振に起因する振動が見られたため、単純移動平均による平滑化処理を行っている。

板厚一定の試験片では、ひずみ速度が小さいほど変位が小さい段階で構造全体が S 字状に座屈し、オーゼティック構造における横方向の収集運動から外れた。この要因は、樹脂の粘性により、ひずみ速度が小さくなると弾性係数の低下に伴って座屈荷重も小さくなったことによるものと推察される。

一方、板厚に傾斜を付けた試験片では、剛性の低いレイヤーから局所的な座屈が発生することで、ひずみ速度が小さい準静的圧縮試験においても全体座屈をせずに、オーゼティック構造

Table 1 Mass and water absorption of test piece with 1.5-mm uniform thickness.

Test piece with 1.5 mm thick panel.	For quasi-static compression test.	For Impact testing at 3.4 m/s.	For Impact testing at 4.6 m/s.	For Impact testing at 6.3 m/s.	For Impact testing at 8.5 m/s.
Mass in dry state (g)	406.0	408.6	409.2	409.8	412.2
Mass in wataer absorbing state (g)	421.9	424.3	431.4	431.9	430.3
Water absorbing rate (%)	3.77	3.70	5.15	5.12	4.21

Table 2 Mass and water absorption of test piece with thickness graded from 1.0 mm to 2.0 mm in increments of 0.25 mm.

Test piece with thickness graded from 1.0 mm to 2.0 mm in increments of 0.25 mm.	For quasi-static compression test.	For Impact testing at 3.4 m/s.	For Impact testing at 4.6 m/s.	For Impact testing at 6.3 m/s.	For Impact testing at 8.5 m/s.
Mass in dry state (g)	402.5	400.5	395.1	399.2	394.9
Mass in wataer absorbing state (g)	418.0	416.1	416.0	418.2	417.0
Water absorbing rate (%)	3.71	3.75	5.02	4.54	5.30

Table 3 Mass and water absorption of test piece with thickness graded from 0.5 mm to 2.5 mm in increments of 0.5 mm.

Test piece with thickness graded from 0.5 mm to 2.5 mm in increments of 0.5 mm.	For quasi-static compression test.	For Impact testing at 3.4 m/s.	For Impact testing at 4.6 m/s.	For Impact testing at 6.3 m/s.	For Impact testing at 8.5 m/s.
Mass in dry state (g)	401.0	397.8	390.7	396.7	400.7
Mass in wataer absorbing state (g)	414.5	411.9	409.3	414.4	420.2
Water absorbing rate (%)	3.26	3.42	4.54	4.27	4.64

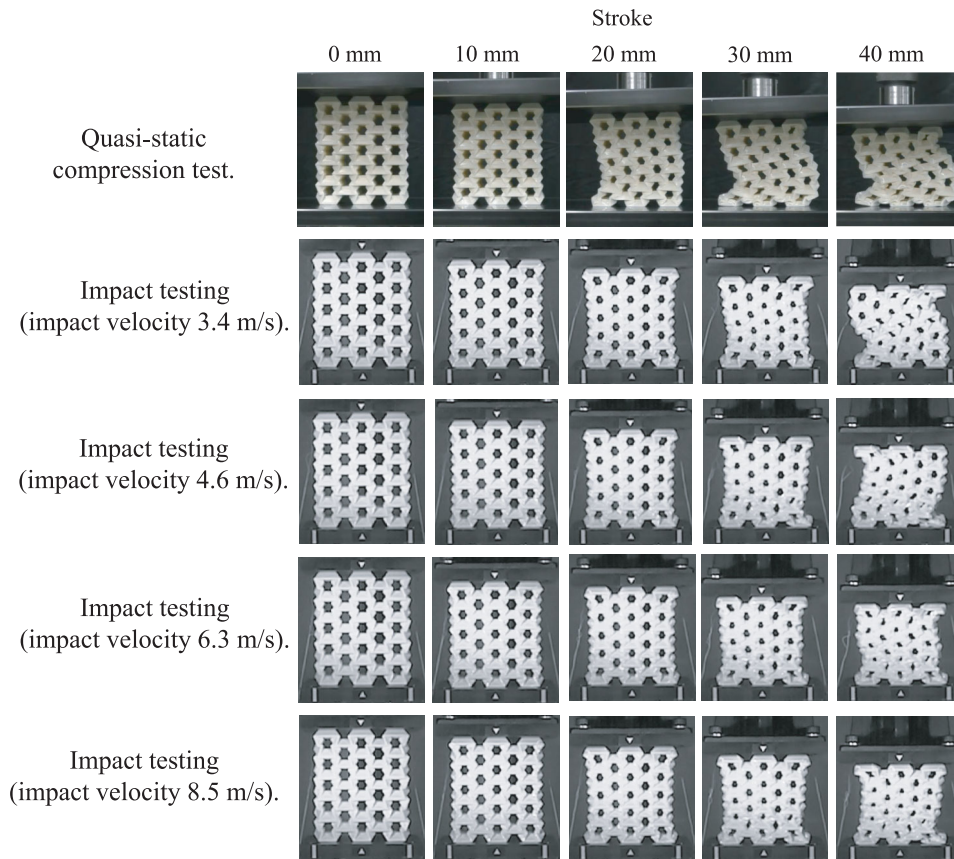


Fig. 7 Deformation process of test piece with 1.5-mm uniform thickness.

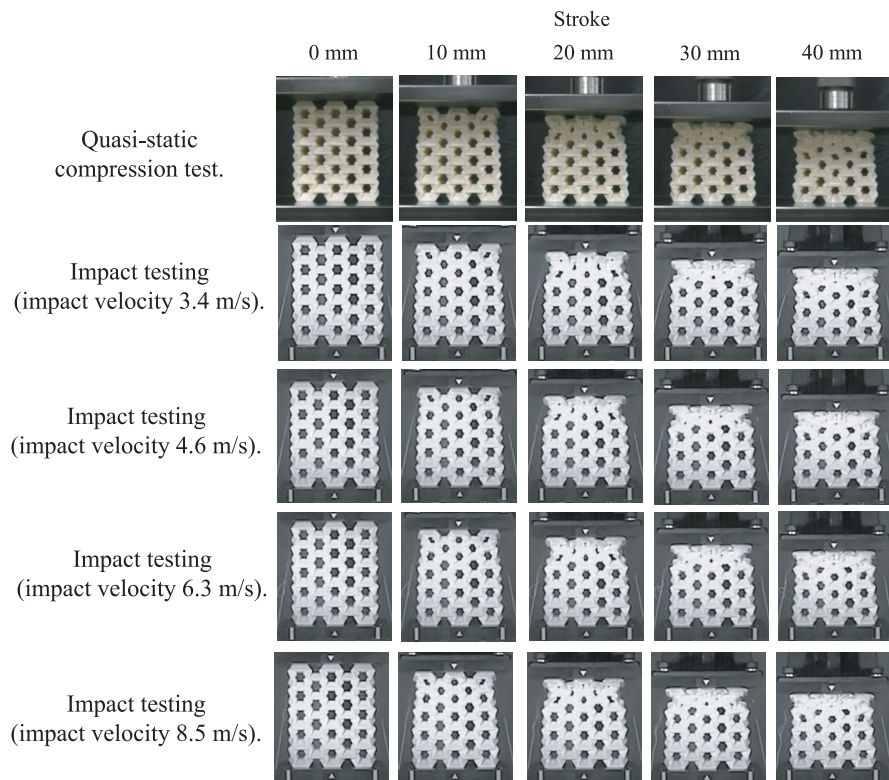


Fig. 8 Deformation process of test piece with thickness graded from 1.0 mm to 2.0 mm in increments of 0.25 mm.

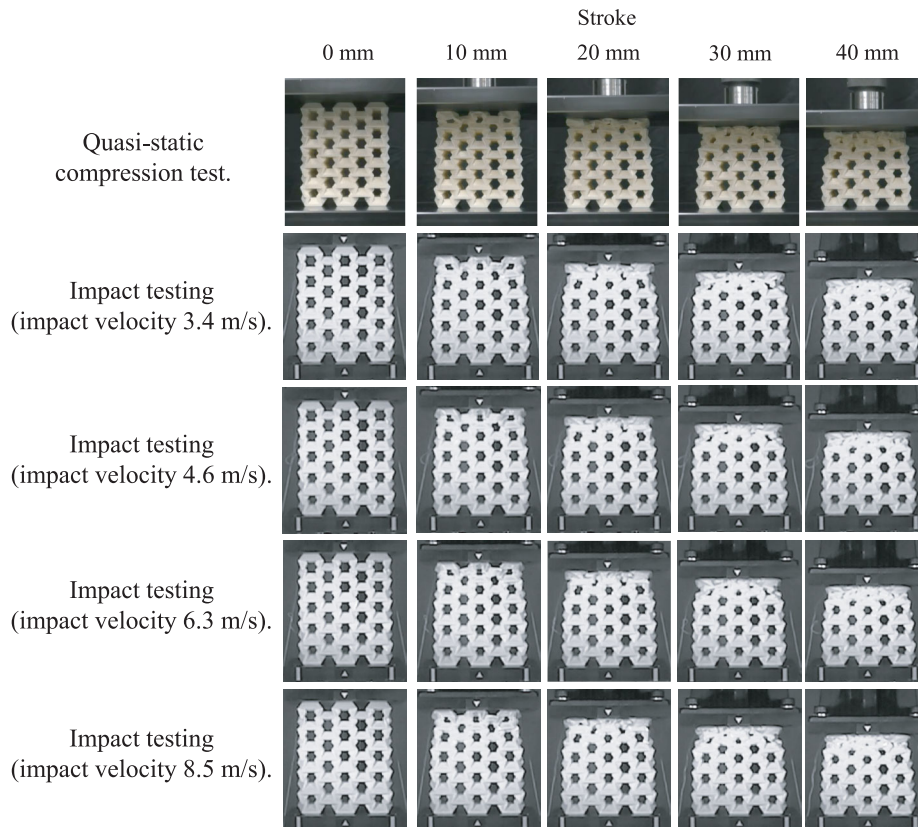


Fig. 9 Deformation process of test piece with thickness graded from 0.5 mm to 2.5 mm in increments of 0.5 mm.



Fig. 10 Force-stroke curves of test pieces.

における収縮運動を維持できていることが確認できる。全体座屈を抑制できた要因は、局所的な座屈により構造体の荷重負荷方向の長さが短くなるために、座屈荷重を大きくできるためと考えられる。また、板厚傾斜試験片のような局所的な座屈が発生する構造にすることで、材料の粘性に起因する、ひずみ速度の増加に伴う初期ピーク荷重の増加を抑制できることが確認できた。より広範な荷重応答が、板厚増加の傾斜を変化させることや、ユニットセル内部で板厚傾斜をつけることなどによる、座屈挙動の変化によって実現できる可能性がある。

5. 結 語

本論文では、TMPの幾何学に基づいた見かけのポアソン比が負のマルチセル構造において、圧縮方向に傾斜的な板厚増加を持つ試験片を3Dプリンティングで造形し、準静的圧縮試験で圧潰することで、先行研究の高ひずみ速度の衝撃試験²⁷⁾と比較することで、低ひずみ速度の違いによる荷重—変位特性と座屈変形の様子を実験評価の荷重—変位特性と座屈変形への影響を調査した。結果として、ひずみ速度が小さくなることで、板厚一定の試験片は小さな変形でも構造全体が座屈するため、オーゼティック構造を持つ横方向の収縮運動から外れてしまうが、板厚傾斜によって剛性を変化させることで、局所的な座屈を誘発でき、全体座屈を抑制できることがわかった。さらに、局所的な座屈が発生する構造にすることで、材料の粘性に起因する、ひずみ速度の増加に伴う初期ピーク荷重の増加を低減できる。

以上のことから、動的な試験に比して、静的試験では板厚傾斜による荷重のなだらかな増加がより顕著に確認され、低ひずみ速度の変形が要求される応用においては、板厚傾斜でねらう荷重の応答を活用しやすい。

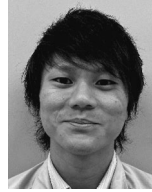
今後、具体的なアプリケーションにおいては、高強度化で要求される大きな板厚は折紙による運動学を破綻させる可能性がある一方で、小さな板厚では構造の破損を引き起こすという背反が用途の限定に繋がりうる。したがって、強度を満足しながら折紙構造の運動を生成可能な板厚の適正値を定量的に探索することが重要である。

参 考 文 献

- 1) T. Frenzel, C. Findeisen, M. Kadic, P. Gumbsch, and M. Wegener, "Tailored buckling microlattices as reusable lightweight shock absorbers", *Advanced Materials*, **28** (28), pp. 5865-5870 (2016), <https://doi.org/10.1002/adma.201600610>.
- 2) S. Kanegae, M. Okugawa, and Y. Koizumi, "Development of shape memory and shock absorbing metamaterials using 3D printing", *The Journal of 4D and Functional Fabrication*, No. **1**, pp. 1-8 (2020), <https://doi.org/10.34498/4dff.1.1>.
- 3) J. Zhang, G. Lu, and Z. You, "Large deformation and energy absorption of additively manufactured auxetic materials and structures: A review", *Composites Part B: Engineering*, **201** (2020) : 108340, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108340>.
- 4) S. Ishida, H. Uchida, H. Shimosaka, and I. Hagiwara, "Design and numerical analysis of vibration isolators with quasi-zero-stiffness characteristics using bistable foldable structures", *Journal of Vibration and Acoustics*, **139** (3) : 031015, pp. 1-8

- (2017), <https://doi.org/10.1115/1.4036096>.
- 5) H. Yasuda, and J. Yang, "Reentrant origami-based metamaterials with negative Poisson's ratio and bistability", *Physical review letters*, **114** (18) : 185502, pp. 1-5 (2015), <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.185502>.
- 6) I. Hagiwara, C. Yamamoto, X. Tao, and T. Nojima, "Optimization for Crush Characteristics of Cylindrical Origami Structure Using Reversed Spiral Model", *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series A*, **70** (689), pp. 36-42 (2004), <https://doi.org/10.1299/kikaia.70.36>.
- 7) S. D. Guest, S. Pellegrino, "The folding of triangulated cylinders, part III : experiments", *Journal of Applied Mechanics*, **63** (1), pp. 77-83 (1996), <https://doi.org/10.1115/1.2787212>.
- 8) Y. Yoshimura, "On the mechanism of buckling of a circular cylindrical shell under axial compression", *National Advisory Committee for Aeronautics Technical Memorandum* **1390**, (1955).
- 9) L. Wang, K. Saito, Y. Gotou, and Y. Okabe, "Design and fabrication of aluminum honeycomb structures based on origami technology", *Journal of Sandwich Structures & Materials*, **21** (4), pp. 1224-1242 (2019), <https://doi.org/10.1177/1099636217714646>.
- 10) K. Narumi, K. Koyama, K. Suto, Y. Noma, H. Sato, T. Tachi, M. Sugimoto, T. Igarashi, and Y. Kawahara, "Inkjet 4D print : Self-folding tessellated origami objects by inkjet UV printing", *ACM Transactions on Graphics*, **42** (4), 1-13 (2023), <https://doi.org/10.1145/3592409>.
- 11) D. Naritomi, N. Hosoya, G. Ando, S. Maeda, and H. Shigemune, "Creation of origami-inspired honeycomb structure using self-folding paper", *Materials & Design*, **223**, 111146, pp. 1-10 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111146>.
- 12) K. Miura, and T. Tachi, "Synthesis of rigid-foldable cylindrical polyhedra", *Symmetry : Art and Science*, pp. 204-213 (2010).
- 13) T. Tachi, K. Miura, "Rigid-foldable cylinders and cells", *Journal of the international association for shell and spatial...*, 2012, ingentaconnect.com
- 14) H. Yasuda, T. Yein, T. Tachi, K. Miura, and M. Taya, "Folding behaviour of Tachi-Miura polyhedron bellows", *Proceedings of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **469** (2159), pp. 1-18 (2013), <https://doi.org/10.1098/rspa.2013.0351>.
- 15) Y. Yang, C. Nara, and I. Hagiwara, "Energy absorbing characteristics of pairing origami structures", *Transactions of the JSME (in Japanese)*, **83** (845), pp. 1-13 (2017), <https://doi.org/10.1299/transjsme.16-00486>
- 16) H. Yasuda, B. Gopalarethinam, T. Kunimine, T. Tachi, and J. Yang, "Origami-based cellular structures with in situ transition between collapsible and load-bearing configurations", *Advanced Engineering Materials*, **21** (12), 1900562 (2019), <https://doi.org/10.1002/adem.201900562>
- 17) R. Lakes, "Foam structures with a negative poisson's ratio", *Science*, **235** (4792), pp. 1038-1040 (1987), <https://doi.org/10.1126/science.235.4792.1038>.
- 18) R. S. Lakes, and K. Elms, "Indentability of conventional and negative poisson's ratio foams", *Journal of Composite Materials*, **27** (12), pp. 1193-1202 (1993), <https://doi.org/10.1177/002199839302701203>.
- 19) G. N. Greaves, A. L. Greer, R. S. Lakes, and T. Rouxel, "Poisson's ratio and modern materials", *Nature Materials*, **10**, pp. 823-837 (2011).

- 20) F. Scarpa, and P. J. Tomlin, "On the transverse shear modulus of negative poisson's ratio honeycomb structures", *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, **23** (8), pp. 717-720 (2000), <https://doi.org/10.1046/j.1460-2695.2000.00278.x>.
- 21) J. Ju, and J. D. Summers, "Compliant hexagonal periodic lattice structures having both high shear strength and high shear strain", *Materials & Design*, **32**(2), pp. 512-524 (2011), <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.08.029>.
- 22) J. P. Donoghue, K. L. Alderson, and K. E. Evans, "The fracture toughness of composite laminates with a negative poisson's ratio", *physica status solidi (b)*, **246**(9), pp. 2011-2017 (2009) <https://doi.org/10.1002/pssb.200982031>.
- 23) Z. Zhou, J. Zhou, and H. Fan, "Plastic analyses of thin-walled steel honeycombs with re-entrant deformation style", *Materials Science and Engineering: A*, **688**, pp. 123-133 (2017), <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.01.056>.
- 24) S. Tomita, K. Shimanuki, H. Nishigaki, S. Oyama, T. Sasagawa, D. Murai, and K. Umemoto, "Origami-inspired metamaterials with switchable energy absorption based on bifurcated motions of a Tachi-Miura polyhedron", *Materials & Design*, **225**, 111497 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111497>.
- 25) H. Yasuda, and T. Kunimine, "Energy absorption of AlSi10Mg origami cellular structures fabricated via laser powder bed fusion", *MRS Communications*, pp. 1-7 (2024), <https://doi.org/10.1557/s43579-024-00518-7>.
- 26) S. Tomita, K. Shimanuki, S. Oyama, H. Nishigaki, T. Nakagawa, M. Tsutsui, Y. Emura, M. Chino, H. Tanaka, Y. Itou, and K. Umemoto, "Transition of deformation modes from bending to auxetic compression in origami-based metamaterials for head protection from impact", *Scientific Reports*, **13**, 12221 (2023), <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39200-8>.
- 27) S. Tomita, K. Shimanuki, and K. Umemoto, "Control of buckling behavior in origami-based auxetic structures by functionally graded thickness", *Journal of Applied Physics*, **135**, 105101 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0194238>.



嶋貫 研人

2017年一関高専（機械工学科）を卒業。同年、株式会社豊田中央研究所に入社。折紙の幾何学を活用したエネルギー吸収構造の開発に従事している。2021年度日本機械学会若手優秀講演フェロー賞、2023年度4DF2023 Best Showcase Award 受賞。



富田 直

2014年北海道大学工学院人間機械システムデザイン専攻修士課程を修了。同年、株式会社豊田中央研究所に入社。2023年より東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程在籍。現在、音響メタマテリアル、折紙を利用した衝突エネルギー吸収構造や展開構造の設計技術に関する研究に従事している。受賞に2022年度日本機械学会賞（論文）、2023年度日本機械学会奨励賞（研究）など。



梅本 和彦

2001年3月総合研究大学院大学数物科学研究科・構造分子科学専攻修了、博士（理学）。2001年4月 Universiteit Twente（オランダ）博士研究員。2002年4月株式会社豊田中央研究所入社。高分子材料、複合材料、展開構造に関する研究に従事。[専門] 錯体化学、高分子化学、複合材料、界面設計