

後藤哲男 / 木原隆明 / 広川智子

GOTO Tetsuo / KIHARA Takaaki / HIROKAWA Tomoko

キーワード
建築教育、折り紙建築、折板構造Keywords
architecture education, ORIGAMI-KENCHIKU, folded plate structure

Developed proposals and teaching materials for architectural education using paper folding. We tested a method to learn about the strength of paper's "material" and "shape" in the mechanism of folded plate structures, and confirmed its effectiveness based on participants' reactions. Many participants said that "ORIGAMI-KENCHIKU"

was "interesting." It can be concluded that the foldable feature of the folded plate structure is suitable for "ORIGAMI-KENCHIKU," and it is thought that the surprise and unexpectedness of the phenomenon of paper coming out fascinated the children.

研究背景と目的

小学生や中学生を対象に「地震に強い家の仕組み」や「地球温暖化に寄与する家の性能（光環境や熱環境など）」について、主に学校教育の場で建築講座を実践してきた。しかし、近年コロナウイルス感染症の影響もあり学校教育での建築講座が難しくなった。そこで社会教育に実践の場を広げ、更に短時間で簡単に楽しく理解してもらうために、身近な材料で建築の構造的な仕組みの教材開発が必要であると考えた。

社会教育では当初、長岡造形大学の後藤研究室として、次にNPO法人建築・住教育研究会—1/10組立住宅模型を使ったとして実践している。日本建築学会北陸支部新潟支所主催の「親と子の都市と建築講座」は不定期に参加し、新潟県三条市が主催するわくわく科学フェスティバル（以下、科学フェスティバルと称する）には毎夏参加している。「親と子の都市と建築講座」は、身近なものを活用して建築の仕組みや面白さを体験、発見する企画が多い。科学フェスティバルでは夏休み期間中の開催であり、毎年800人前後の小学生などが家族や友人と参加し、科学現象や科学技術への探究心、興味・関心を高めることを目標としている。当NPO法人がこれらに参加する意義は、子ども達に建築の仕組みを短時間で簡単明瞭に楽しく伝えられることである。

本論は2018年に新潟県胎内市で行なった親と子の都市と建築講座の実践から建築教育の発展と教材の改良を2022年の科学フェスティバルで実践した「紙の強さと折り紙建築」についての研究である。

1. 講座の方針

1.1 講座の方針と研究方法

受講者は、主に幼児から小学生の子ども、保護者として親世代や祖父母世代まで様々な世代が混合されることが予見された。そのため、支援体制を強化した。建築意匠や建築構造など専門的に従事している人たちにサポートをお願いし分かりやすい言葉で手助けすることで保護者や子どもが納得して製作できるよう工夫した。研究方法は以下の2段階で行う。

第1段階：紙の強さ・形の強さ

まず、受講者が素材の弱さ・強さについて体験的に疑問を持つ機会を設ける。次に紙を折ることにより断面形状を変え、形の持つ強さの変化について直感的に理解できるようにする。

第2段階：応用としての折板構造

受講者は紙の折り目角度により折れ曲がる角度が調節できることを

体験し、様々な形になる折板構造の建築空間を製作する。一枚の紙から多様な空間ができる楽しさを体験しその方法を習得する。作品を持ち帰ることで家族に話をして情報を共有することや何度も手に取って考えることもできる。

2. 親と子の都市と建築講座「紙を折って建物を作ろう！」

2.1 講座の概要

新潟県内で2018年と2019年に同一内容の建築講座を実施した。今回は2018年について報告する。会場が胎内市産業文化会館の会議室、実施時間が2時間である。参加者子ども27名、大人21名、スタッフ18名である。親子1～2組が1つの長机を使用し、全12机を配置した。その他、幼児用のテーブルも1か所。机上には道具を全て準備した。

2.2 講座内容

2.2.1 素材の強さを体験する

まず材料のもつ強さ（ヤング係数）を比較することから始める。鉄製、竹製、プラスチック製の断面がほぼ同じ30cmの物差しを用意する。それぞれのヤング係数は鉄：200x10³ N/mm²、竹：12x10³ N/mm²、プラスチック：2x10³ N/mm²である。各定規を受講者が両手で持ち、曲げる実験を行う。力を入れ過ぎて折ってしまう子どもも出現したが、素材の違いにより、同じように曲げるのに使う力が違うことを実感することができた。

2.2.2 素形の強さを体験する

形の持つ強さ（断面二次モーメント）を確認するため、3種類の厚み（薄い、少し厚い、厚い）のケント紙（30cm×3cm）を使って重心を考えながら、自分の指の上に乗せ、たわみ具合を観察する。観察した結果、折れはしないものの薄い紙、中厚、厚紙順に両端がドラッと下がってヤジロベエ（fig.1, left）のように釣り合って静止する。



fig.1 2018年 建築講座の様子

次に1枚の平らな紙を図2, leftのように人差し指の上に乗せる。さらに、縦の中心線に沿って折った薄い紙(図2, right)を同じように人差し指の上に紙を置く。前者のような変形は見られないことを体験する。同じ紙でも折ることで強くなることが実感できる。

2.2.3 山折り谷折りの基本操作

折板を作る場合、まず図3のように折り目をつけ、表側を凸に折る山折りと凹に折る谷折りを区別する。

次にa点から角度 θ の折り目をつけ、点aにおいて山折から谷折りに転換すると、図4の下図のように折ることができる。このとき折板の折り曲げた(稜線を曲げる)角度をAとする。

紙の2つの長辺が常に平行であること、つまり折り角度 α を常に一定にすることを条件とすると、 α 、 θ 、Aには以下の関係が成り立つ。下式は図4の説明である。

$$\cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha) / \sin^2(A/2) = 1 / \cos^2(\theta) \quad \cdots (1)$$

上式は角度Aを30°、45°、60°、90°等に設定したい場合、折板の折り角度 θ が決まることを意味しており、折板構造で空間を設計することが可能となる。

2.2.4 簡単な演習問題(折板角度 α を45度に設定する)

α を45°にすると、折板は90度のアングル型になる。

$\cos^2(45^\circ) = 1/2$ 、 $\sin^2(45^\circ) = 1/2$ となり、(1)式は θ とAの関係式となり、角度Aが決まれば、 θ が導き出され、空間を設計(図4)することができる。

折板の両側の小口を地面に水平に置き、全体で180°折り曲げるようにデザインすることができる。稜線の長さや、折り曲げ箇所数を決定することにより様々な形態が可能である。また、山折りと谷折りを反転することにより、違った印象(図5)を生み出すことできる。例えば、角度Aを90°折り曲げるための θ を求めると、

(1)の式に $\alpha = 45^\circ$ A = 90°を代入する

$$1/2 + 1/2 \cdot 2 = 1 / \cos^2(\theta)$$

$$\cos^2(\theta) = 2/3$$

$$\cos \theta = \sqrt{2/3} = 0.816$$

$$A = 90^\circ \quad \theta = 35^\circ$$

他の角度の場合は以下のようになる。

$$A=60^\circ \quad \cos \theta = 0.632 \quad \theta = 51^\circ$$

$$A=45^\circ \quad \cos \theta = 0.505 \quad \theta = 59^\circ$$

$$A=30^\circ \quad \cos \theta = 0.355 \quad \theta = 69^\circ$$

以上の結果を踏まえ、薄手のケント紙に図7のような型図を何種類か用意する。山折り、谷折りの線を折りやすく工夫して図6に示すような様々な空間ができあがる。子ども達は好きな形の型図を選択して折り上げ、現実にはできる空間を想像し、人間などの添景を加えて楽しむことができた。基礎を学ぶことで様々な折板構造を製作できることを確認した。

3. 折板構造の特徴

3.1 折りたためる

前節で作られる形は α を固定することにより、折り曲げ角度Aをコントロールする。一方、折板構造は折りたたむことができる特徴も

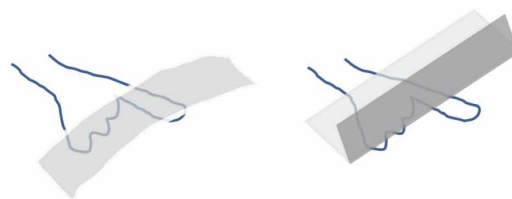


fig.2 紙を人差し指の上に乗せる



fig.3 紙を縦の中心線に沿って折り目をつける

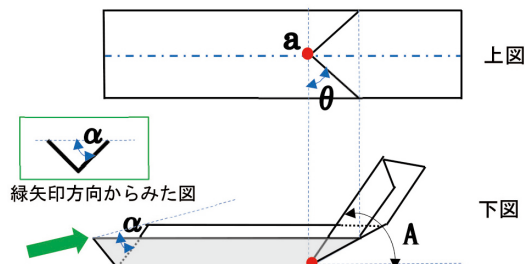


fig.4 aにおいて山折から谷折りに転換する



fig.5 山折りと谷折りを反転した場合



fig.6 折板構造の様々な空間ができあがる

ある。これは α を90°に近づける動作となる。

(1)式に $\alpha = 90^\circ$ を代入する。

$$\sin^2(A/2) = \cos^2(\theta)$$

$$\sin(A/2) = \pm \cos(\theta) = \cos(\pm \theta)$$

三角関数の定義より $90^\circ \pm \theta = A/2$

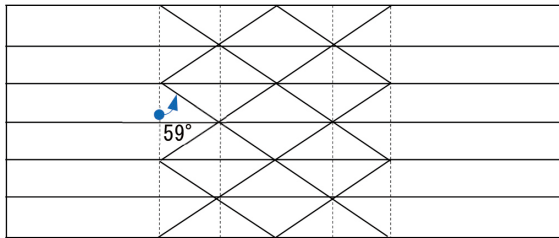


fig.7 型図

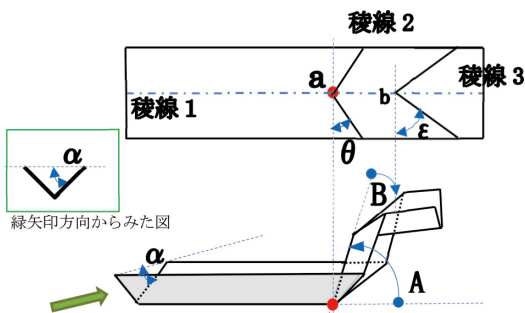


fig.8 二度折り曲げた状態

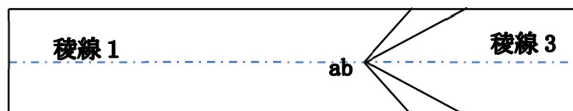


fig.9 a と b を限りなく近づけた状態

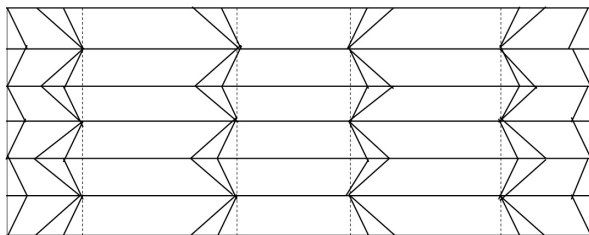


fig.10 開発した型図

よって、完全に折りたたんだ時の角度 $A = 180^\circ - 2\theta$
 また $\alpha = 0$ の時は折り曲げていない状態、故に $A = 0^\circ$
 したがって角度 α によって断面形は常に変化する。

3.2 α を固定しないと球形にもなる

同一断面の連続は建築空間への応用に適しており、大規模の倉庫のような用途向きであるが、台形ないし三角形の2枚の板で構成される各ユニットの α を固定しない場合はランプシェードのようにすることもできるため、光源を合わせると、さらに楽しむこともできる。

4. 建築教育の発展と教材の改良

4.1 折りたたんで断面形状が変わらない方法を考える

(折り紙建築として成り立たせるために)

fig.8のように、a点とb点からそれぞれ角度 θ と ε の線を引き、2度折り曲げることを考えると、稜線1と稜線3の角度はA-B度である。前節で考察したように、この折り方を α が90度となるように折りたたむと、稜線1と稜線3の角度は以下となる。

$$A - B = 180^\circ - 2\theta - (180^\circ - 2\varepsilon) = 2(\varepsilon - \theta)$$

次に、a点とb点を限りなく近づけると (fig.9)、稜線2は消え、

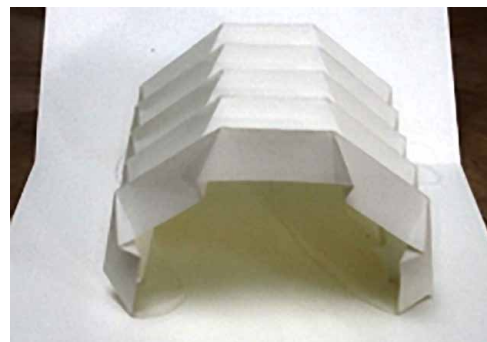


fig.11 開発した折り紙建築

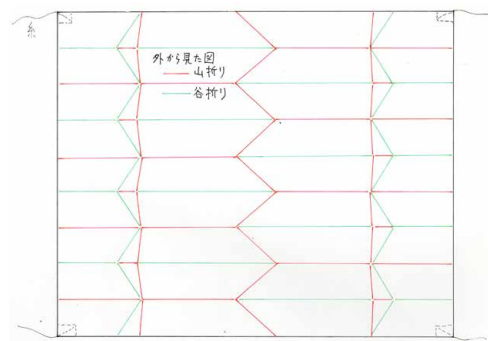


fig.12 簡易版の型図

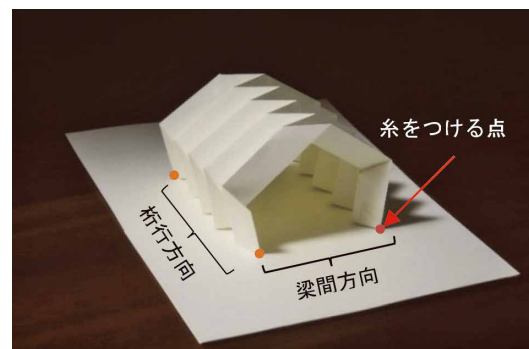


fig.13 簡易版の折り紙建築

稜線1と3だけが山折れとなって、ab点で連続する。折板構造は山折りと谷折りが交互に出現することにより剛性が保たれるが、この場合は折板にひだを与えた状態になると解釈ができる。

稜線2が消滅した時点でab点はピンのように動く接合点となり、稜線1部分と稜線3部分の折り曲げ角度 α に自由度が生ずる。稜線3部分のピタッとたたんだ状態 ($\alpha = 90^\circ$) の時、稜線1部分の α は $90^\circ - (\varepsilon - \theta)$ から 90° の値を取りうることになる。

つまり、稜線1と稜線3の角度を一定にするためにそれぞれの稜線部の角度 α は、折りたたんだ時の断面形状と広げた時の断面形状を同じように調節が効く状態になる。見方を変えればひだに相当する部分が折り曲げ時の変形を吸収するとも言える。まず開発した折り紙建築の型図は、fig.10である。fig.8のユニットを数列連ねたものでフレキシブルな接合点を4箇所設けた。

fig.11はfig.10の型図を折り上げた姿である。台紙にたたんで挟み、開くと折り紙建築が飛び出し3次元の空間が現れる。しかし、フレキシブルな接合点の折る作業が非常に難しく、とても時間がかかった。

そこで、フレキシブルな接合点を簡素化して2箇所にした簡易版の型図 (fig.12) を制作した。fig.13はfig.12の型図を折り上げた姿である。フレキシブルな接合点が非常に折りやすくなり、作業は短

時間になった。

また、折り紙建築をたたんで台紙に挟み込む位置は、糸をつける点とする。その位置は梁間方向に折りたたんだ時の間隔の2点と長手方向は α が 45° になる時の桁行方向の長さ（Lと仮定）2点とする。糸を取り付ける位置は台紙を開く軸からL/2離れた位置となる。

5. 科学フェスティバル

5.1 イベントの概要

2022年8月（夏休み）に開催された小学生が参加する科学体験ブースの1企画として三条市の科学フェスティバルに参加した。

小学生が興味や関心を高めるために「折り紙建築」と「1/10組立住宅模型（以下、1/10模型と称する）」を活用した。折り紙建築は、小学生が制作し成果物（お土産）として持ち帰った。

5.2 イベントの内容

まず教育方針の第一段階は、型図を用いて紙の変形や強さを簡単に考える機会を設ける。次に、建築家や建築構造の専門家、学校教員のスタッフが小学生1名につき1名対応し、簡易版の「折り紙建築」制作補助（fig.14）をした。また、1/10模型の屋根の上にA1サイズ用の紙の折板屋根をのせ、蛇腹の折板は屋根としても応用でき、耐震構造（筋交い）の振動実験で強度を確認できる（fig.15）コーナーも設けた。



fig.14 折り紙建築を作る



fig.15 折板屋根を1/10模型にのせる

5.3 参加者の反応

小学生は約50名が参加し、10名にインタビューした。全員が「面白かった」と回答した。参加者は小学3～4年生が最も多く、面白かった理由として「（折り紙建築が開くと）飛び出すから」と答えていた。

参加者の様子は、真剣に話を聞き丁寧に紙を折っていた。また山折り、谷折りが連続する部分で苦戦する場面も見受けられたがスタッフや保護者の手助けで最後は笑顔でカードを何度も開閉していた。飽きる子どもがいなかったことは手作業の面白さの証明でもある。参加者の手先の器用さによって組み立てに要する時間・出来栄は千差万別ではあるが、紙の持つ可能性から建築の構造的な仕組みについて分かりやすく示すことができた。

6. まとめ

紙を折る建築教育の提案と教材を開発、実践した。建築の構造的な仕組みについて紙の「材料」「形」の強さを学ぶ方法を試行し、参加者の反応から効果を確認した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 子ども達は紙の材料や形について学ぶことで、好きな形の型図を選択して折り上げて楽しむことができていた。これは角度や山折り谷折りを变えることで変化に富んだ折板構造になることを知り、設計の醍醐味を感じながら製作していることを確認した。
- 2) 「折り紙建築」は、「面白かった」という感想が多かった。これは折板構造の折りたたみという特徴が「折り紙建築」に適合していると結論でき、飛び出すという現象のびっくり度、意外性が子ども達を夢中にさせたと考えられる。

謝辞

本研究の実践の機会を提供してくれた日本建築学会新潟支部の親子の都市と建築講座実行委員会、わくわく科学フェスティバルを主催する三条市に感謝致します。

参考文献

- 1) 茶谷正洋、木原隆明：折り紙建築 世界の名建築をつくる、彰国社、1999.
- 2) 木原隆明：起き上がる形本 Vol.1 基本立体編、明間印刷所、2010.