

第18回日本物理学会 Jr. セッション (2022) (オンライン)

研究テーマ 形状の相違による紙の強度について

研究者所属 兵庫教育大学附属中学校

〒673-1421 兵庫県加東市山国2007-109

要旨

本研究では、紙の形状が強度にどれくらい影響を与えるのかについて調べた。調べた結果、段ボールやハニカム構造などにより強度を増すことが出来るとともに、これらの形状の工夫が私たちの生活に大きく関わっていることが分かった。同じ面積の紙で正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱、正八角柱および円柱を作り、おもりを乗せて強度を測定し、正三角柱から円形に近づくほど強くなることが分かった。構造物は、材料が同じでも少しの工夫や手間をかけることにより強度を大きく出来ることが分かった。

序論

ペーパーブリッジコンテスト「A4の紙1枚で最強の橋をつくる」という企画があることを知り、紙の形状が強度にどれくらい影響を与えるのかについて調べてみることにした。段ボール[1]やハニカム構造[2][3]などにより強度を増すことが出来るとともに、これらの形状の工夫が私たちの生活に大きく関わっていることが分かった。本研究の目的は、大きな荷重に耐えられる形状を見つけ出すことである。今回は、構造物の強度を大きくするために、紙の形状が強度に与える影響について考察した結果を報告する。

実験方法

図-1のとおり、実験①として、同じ面積の紙で正三角柱、正四角柱、正五角柱、正六角柱、正八角柱および円柱を作り、おもりを乗せて強度を測ることとした。

次に、実験②として、実験①で用いた正三角柱～円柱に内接する円柱の強度を調べた。

さらに、実験③として、実験①の正三角柱～円柱の変形を抑制するために内側に円柱を入れる(のりしろはのりでくっつけない)ことにより、強度が増すのかを調べた。

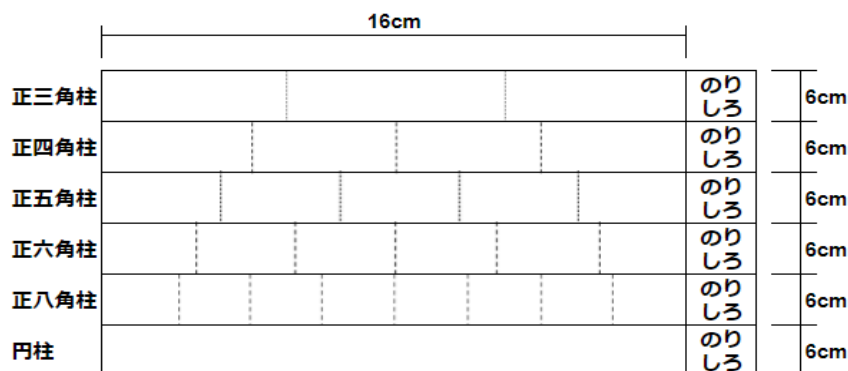
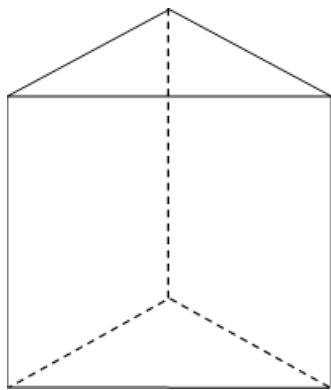


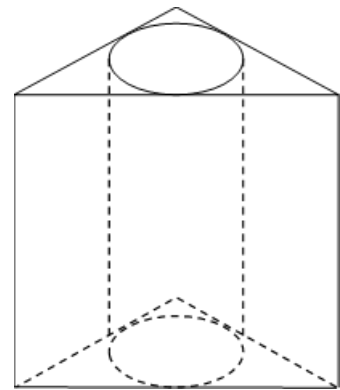
図-1 実験①で使用したそれぞれの設計図



【実験①】



【実験②】



【実験③】

図-2 実験①～③で作った柱（正三角柱の場合）

実験結果の予想

予想として、以下の仮説を立てた。

【予想①】 同じ面積の正多角柱の強度は円に近づくほど増す。

【予想②】 変形が抑制されれば、強度が増す。

準備物 紙、ビー玉、ビー玉を入れる容器、量り

実験の進め方【実験①の場合】

- ① 正三角柱～円柱を作る。
- ② ビー玉やビー玉を入れる容器の重さを量る。
- ③ 正三角柱～円柱の上にビー玉を入れる容器を置く。
- ④ ビー玉を入れ、正三角柱～円柱がつぶれるの重さを測定する。

※実験②、③も実験①に準じた方法で実施した。



円柱に容器を置いた状況



容器にビー玉を入れた状況



正三角柱が潰れた状況

写真-1 実験の状況

結果

正三角柱～円柱がつぶれた重量は、以下のとおりとなった。[4]

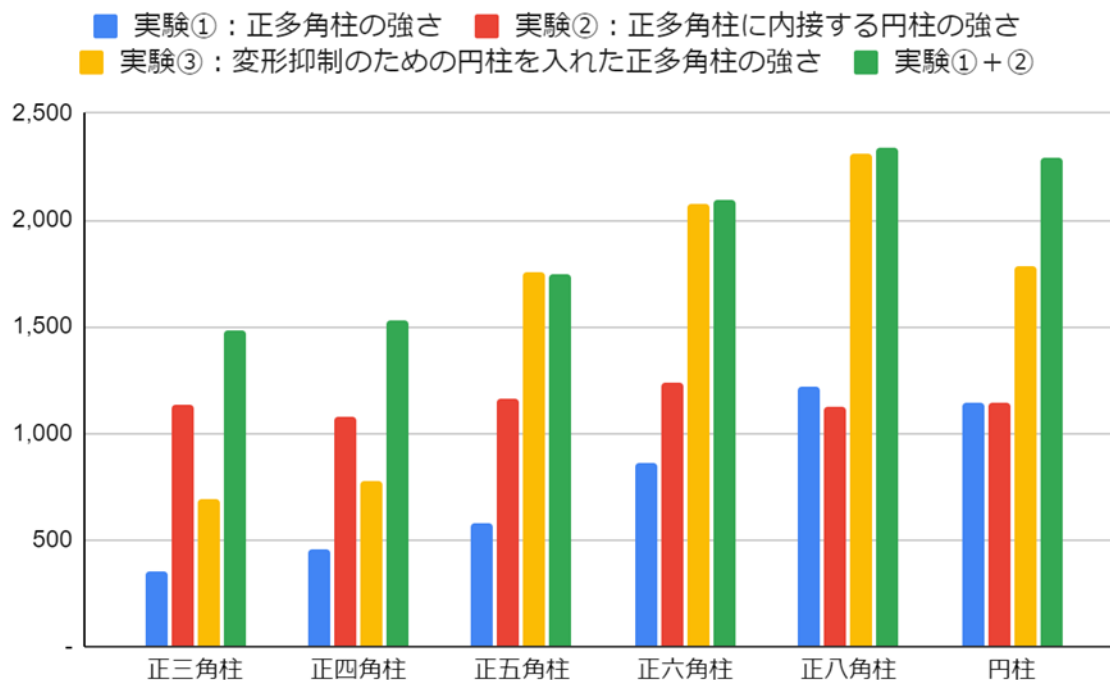
表－1 正三角柱～円柱の断面積とつぶれた重量

	面積 (cm ²)	つぶれた重さ (g)			
		実験①	実験②	実験③	実験①+②
正三角柱	12.3	353	1,130	688	<1,483
正四角柱	16	454	1,075	777	<1,529
正五角柱	17.6	583	1,165	1,753	≒1,748
正六角柱	18.5	863	1,235	2,075	≒2,098
正八角柱	19.3	1,215	1,120	2,310	≒2,335
円柱	20.4	1,148	－	1,785	<2,296※

※円柱の実験①+②の値は、実験①×2とした。

正三角柱～円柱がつぶれた重量をグラフにまとめると以下のとおりとなる。

グラフー1 正三角柱～円柱がつぶれた重量【実験①～③】



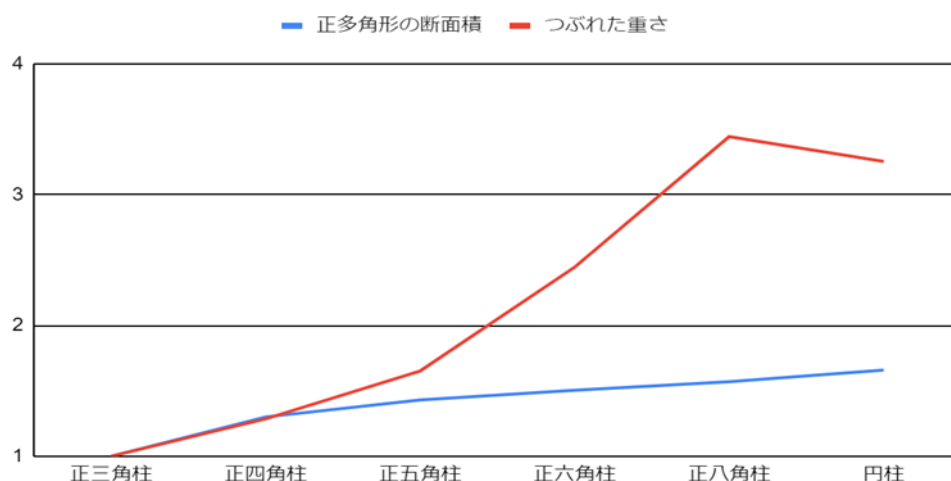
正三角柱～円柱の断面積とつぶれた重さ関係は、以下のとおりとなった。[4]

表-2 正三角柱～円柱の断面積と重量【実験①】

	断面積		実験①でつぶれた重さ	
	(cm ²)	比率	(g)	比率
正三角柱	12.3	1	353	1
正四角柱	16	1.3	454	1.29
正五角柱	17.6	1.43	583	1.65
正六角柱	18.5	1.5	863	2.44
正八角柱	19.3	1.57	1,215	3.44
円柱	20.4	1.66	1,148	3.25

グラフ-2 正三角柱～円柱の断面積と重量のグラフ【実験①】

正多角形の断面積 とつぶれた重さ(正三角柱 = 1 とした場合)



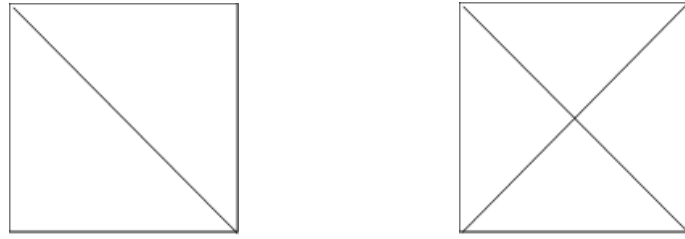
考察

◆考察1・・・予想①について

正三角柱から円形に近づくほど強くなっているが、円形になった場合、正八角柱よりも強度が下がっている。これは、円柱には、折り目がないことが影響している可能性があると考えられる。

◆考察2・・・予想②について

正多角柱とそれに内接する円柱の間隙が小さくなるにつれ、強度が上がっていることから、正多角柱の強さには、変形を抑制する効果はあると考えられる。しかし、同じ材料を使うのであれば、効果は薄いため、もっと使う材料を減らして強度を向上させることが出来る方法を採用する方が効果は高いと考えられる。



図－3 少ない材料で変形を抑制する事例（正四角柱の場合）

◆考察3・・・円柱の強度が断面積で変わらないことについて

円柱の強度が断面積を変更しても強度はあまり変わらなかった理由は、高さが6cmと低くもっと高さがあれば、違った結果になっていたのではないかと考えられる。

◆考察4・・・紙の強度について

今回の実験では、バランスが偏るとその方向が破壊されていたため、出来るだけ大きな多角柱とすることにより、断面積が増加するとともに広い範囲※で力を支持することで、本来の強度が発揮できるのではないかと考えられる。

※上に入れる容器の底より少し小さい大きさが一番、耐えられるのではないかと考えた。

結論 正多角柱を円柱に近づけることで強度が大きくなることが分かった。また、正多角柱とそれに内接する円柱の隙間が小さくなるにつれ、変形を抑制する効果があることも分かった。今回の研究成果は、構造物の形状が強度に与える影響を示し、安全・安心な社会の実現に寄与する可能性がある。

参考文献

[1] 参考全国段ボール工業組合連合会 HP <https://zendanren.or.jp/content/structure/>

[2] ウィキペディア ハニカム構造

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8F%E3%83%8B%E3%82%AB%E3%83%A0%E6%A7%8B%E9%80%A0>

[3] はちみつおすすめwiki ハチの巣が六角形（ハニカム構造）なのはなぜ？六角形のメリットいろいろ <https://honey-wiki.com/honeycomb/>

[4] keisan 生活や実務に役立つ高精度計算サイト

<https://keisan.casio.jp/exec/system/1161228782>