

# ハニカム構造を利用した防災用紙製品の開発

学校法人静岡理工科大学星陵高等学校  
2年 上杉朋花

## 1. 前書き

本研究の目的は、紙製のハニカム構造、通称ハニカムペーパーを応用し、被災地セットを開発することである。私は中学2年次からハニカム構造の研究を行っている。ハニカムペーパーは構造・材料の性質から、以下の利点を持つ。

- ① 特定方向に対する高い強度
- ② 軽く持ち運びが容易
- ③ 縮めて小さく収納が可能

これらを活かす製品として、ヘルメットとベッドを開発しようと考えた。この2つの製品は、被災地、特に避難所での使用を想定している。ヘルメットは祖父の転倒事故をきっかけに高齢者の安全を守りたいと思い研究に着手した。しかしベッドの研究を進めていく中で災害時に人々の役に立てるような製品へ転換したいと考えるようになった。今回は、ヘルメットとベッドの製品化に向けた研究をそれぞれ報告する。

## 2. ハニカム構造を利用したペーパーヘルメットの研究

### 目的・背景

祖父の転倒事故をきっかけに高齢者の安全について考えるようになった。高齢者が、またその家族が安心して生活を送れるような手助けをしたいという思いから、高齢者向けの軽量ヘルメットの作製・それにむけた実証実験を行うことにした。市販のヘルメットは重くてかさばるが、帽子では頭を守りきれない。そこでハニカム構造を応用した軽くて折り畳みが可能な紙製のヘルメットを考案する。

### 方法

図1は使用した落下衝撃試験機である。切断したペットボトルの上部に油粘土を詰め、下部にアクリル板を固定した錘を作成した。ハニカムペーパーに錘を落下させ、凹んだ深さを測定した。錘の位置エネルギーと紙の潰れた体積からエネルギー吸収量を求めた。図2で示す $\theta$ を変数として定義し、ハニカムの広げ幅を面積という形で一般化して、衝撃エネルギー吸収量の変化を求めた。しかし、粘土の錘を使用した際には実験結果のバラつきが非常に大きくなってしまったため、おもりを金属球に変更し、再度落下衝撃試験を行った。

## 結果・考察

図 3 に実験結果を示す。油粘土の錘で行った実験では、ヘルメットの安全基準を満たす強度を示す結果が得られたが、結果のバラつきによって誤差が6%となった。そこで、錘を鉄球に変更すると、誤差を2%以下に軽減させることができた。しかし、エネルギー吸収量はヘルメットの安全基準を下回ってしまった。これは、おもりの形状によって圧力のかかり方が異なり、特に鉄球では接触面積が小さいときに大きな圧力がかかるため、ハニカム構造そのものを破壊してしまい強度が低下したと考えた。図 4 に示すように従来のおもりの条件では小さな破れが発生していただけだったが、鉄球ではハニカム構造の糊付け部分が大きく剥がれ、水平方向への潰れによって構造が崩れていることが分かった。

## 今後の課題

角度を変数として衝撃エネルギー吸収量を求めていた本実験からさらに発展させ、ハニカムペーパーに与えるエネルギーを変化させた場合の衝撃エネルギー吸収量を調査する。また、紙の素材としての強度を探るため、現在リングクラッシュ法の準備を進めている。

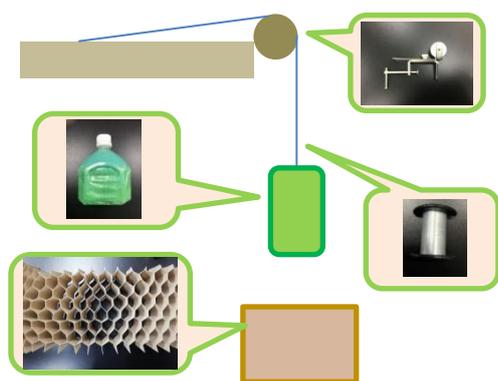


図 1 落下実験装置の概要

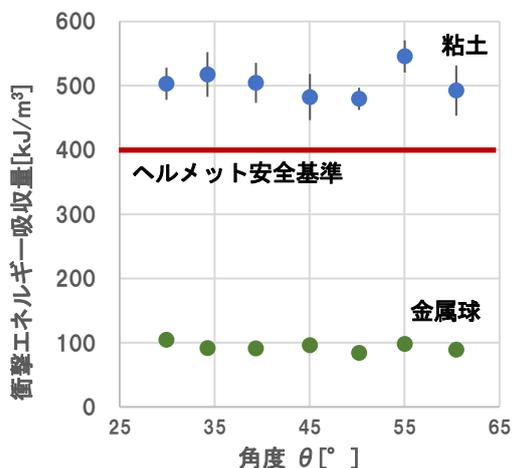


図 3 従来のおもりとの比較

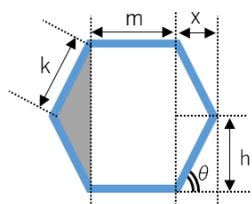


図 2 ハニカムの辺の定義

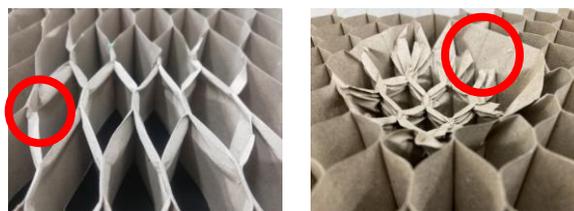


図 4 落下跡 (A)旧おもり (B)鉄球

### 3. ハニカム構造を利用したペーパーベッドの研究

#### 目的・背景

近年、災害が増加し、避難所の利用者が増加している。避難所で平成30年7月豪雨ではTVの映像から、体育館の床の上にシートや簡易マットを敷いて生活していることが分かった。避難所は体育館や公民館などの固く冷たい床にエアーマットや段ボールを敷くケースが多い。また、新型コロナウイルスの感染拡大防止策として、避難所における仕切りとして段ボールの需要が上がり、敷物として供給できないことも想定される。このような場所で避難した人達はよく眠れるのだろうか？そこで、ハニカム構造を活用して避難生活の負担を軽減できないかと考えた。本研究の目的は、ハニカムペーパーベッドを実用化させることで、避難所生活における睡眠時の心身の負担を軽減することである。

#### 方法

対象物の上に体圧分布の測定マットを敷き、被検体が仰向けに寝た時の圧力の分布を測定した。(図5) 複数人のデータを取り、平均値をとった。ハニカムペーパーは重ねる事で体にかかる圧力が分散することが従前の研究で分かっていたため、ハニカムペーパー、段ボールは2段に重ねた条件でも実験を行った。

#### 結果・考察

ある被験者があおむけに寝た際の圧力分散の様子を例として図6に示す。4種類の評価対象物で圧力分散の様子が変わっていることがわかる。特に上半身では床から布団にかけて徐々に色が薄くなり、圧力が分散されている。複数の被験者の結果を平均して計算した結果、ハニカムペーパーを2段重ねることで、床で寝るときよりも体にかかる圧力を約15%軽減できることが分かった。また、敷布団を敷いた場合は圧力を約23%軽減していることが分かった。(図7)。更に頭、上体、腰の3部位に注目して分析すると、特に頭と腰で体圧分散効果が大きいことが分かった。

(図8)

#### 今後の課題

部分的に圧力の分散効果を検証した際、頭の部位で布団とハニカムの非常に大きな差が生じた。これはタオルなどで簡易の枕を用意することによって負担の軽減が可能だと考えられるが、十分な効果が得られるか検証する。更に従来のマットレスの研究と比較するため、被験者の数を増やし、アンケートをとることで寝心地についても追及したい。体圧分散に限らず、従前の研究で得られていた遮音性、通気性などについても実験方法の妥当性に疑問が残るため、改めて適切な実験方法を検討して、定量化することでハニカムペーパーの有用性を検討し、商品化に向けて研究を進めたい。

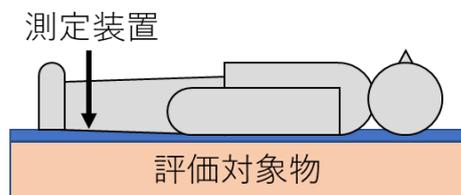


図5 測定方法

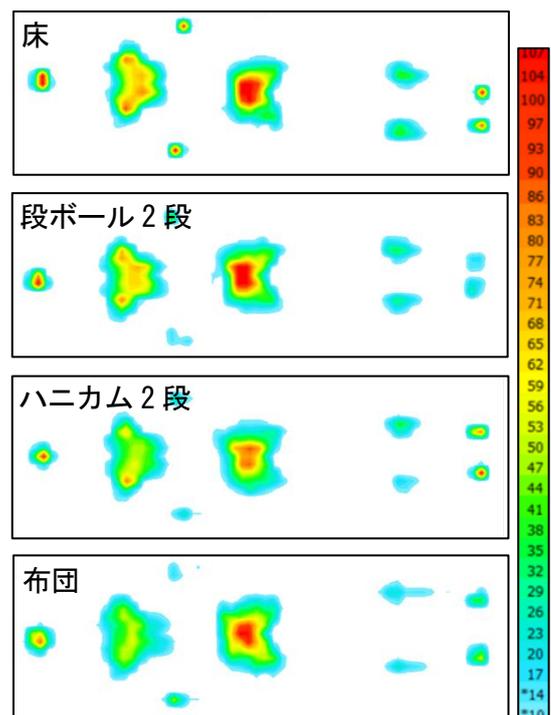


図6 圧力分布の例

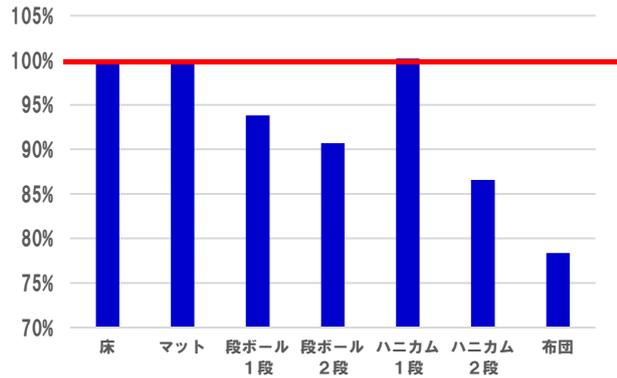


図 7 身体にかかる圧力比  
(床を 100%とする)

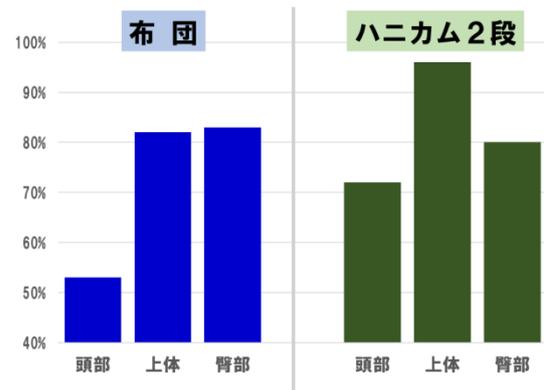


図 8 布団とハニカム 2段の比較

#### 4. あとがき

紙製のハニカム構造の特徴について実験することで、使用環境の制約が狭まりハニカム構造の使用用途が広がる可能性が見えてくる。しかし、ハニカムペーパーがいくら強度に優れ、圧力を分散したとしても、やはり正規のヘルメットやベッドに性能は劣る。しかし本件研究で開発しようとしている製品は災害発生時を想定している。物資が十分に届かず、避難者全員に必要なベッドやヘルメットが提供されないとき、物資が到着するまでのつなぎ役をハニカムペーパーが担えると考えている。ハニカムペーパーはとても「優しい」素材である。紙製のため、他の素材に比べてコストが抑えられる。また、保温性や吸湿性に優れ、柔軟性もある。そして軽く、コンパクトに収納が可能だ。金属やほかに素材と比べて廃棄の際の自然への害も少ない。お財布に、体に、そして環境に優しいハニカムペーパーを私は様々なものに応用して広めていきたい。

#### 5. 謝辞

本研究はナゴヤ芯材工業株式会社様より資材を提供していただいております。

ご協力に心より感謝申し上げます。

ナゴヤ芯材工業株式会社 〒485-0831 愛知県小牧市東4丁目 155

静岡大学の島村教授と、星陵高校の渡辺先生には熱心なご指導をいただきました。

現在はグローバルサイエンスキャンパス 静岡大学 未来の科学者養成スクールにて発展コース生として研究を進めております。

## 6. 参考文献

- 1) 総務省統計局 高齢者の人口及び割合の推移
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所 推計  
<https://seniorguide.jp/article/1207592.html>
- 3) L. J. Gibson, M.F.Ashby, Cellular Solids, Pergamon Press, 1988  
(日本語版：大塚正久訳 セル構造体 内田老鶴圃 1993)
- 4) 紙の強度における諸問題 (第4章)紙の強度におよぼす含有水分の影響  
武祐一郎・太田隆之・八十島治雄
- 5) ショートスパン法による段ボール原紙圧縮  
強度の評価王子ホールディングス株式会社紙パルプ革新センター 小林孝男 平野大信 小林孝男
- 6) Protective capability of bicycle Helmets,  
N. J. Mills, PhD School of Metallurgy and Materials, University of Birmingham
- 7) 自転車用発泡スチロールの圧縮変形に及ぼすひずみ速度の影響  
野崎兼介 小林 秀敏 堀川敬太郎 渡辺恵子  
年次大会講演論文集 2008.6(0), 267-268, 2008  
一般社団法人 日本機械学会
- 8) Deformation mechanisms and energy absorption of polystyrene foams for protective helmets, Luca Di Landro, Giuseppe Sala, Daniela Olivieri,  
Polymer Testing 21 (2002) 217-228
- 9) 日本睡眠科学研究所 「体圧分散」とは  
<https://www.nishikawa1566.com/company/laboratory/research/singu/>
- 10) 岐阜県生産情報技術研究所研究報告 第7号  
<https://www.gitec.rd.pref.gifu.lg.jp/research/report01d.php>
- 11) 日生氣誌 54 (2) 65-73, 2017 段ボールベッドが低温環境下での入眠過程に及ぼす影響  
水野 一枝, 水野 康, 西山 加奈, 田邊 素子, 水谷 嘉浩, 小林 大介