紙に厚みと切られる物体の切れやすさ

寺田拓未

要旨

実験では、水分量で硬度を 4 段階に調整した寒天ブロックを台車に乗せ、異なる厚さ（0.09mm、0.42mm、0.76mm）の紙に一定条件で衝突させ、その切れ込みの深さを測定した。切れ込みの深さを切れやすさとした。結果として、実験した中では 0.42mm の紙が総合的に最も物体を切りやすいことが判明した。厚い紙（0.76mm）は鋭利さに欠け対象を押し潰してしまい、薄い紙（0.09mm）は衝突時に紙自体が曲がり力が分散するため、安定して切ることができなかった。一方、0.42mm の紙は適度な厚みがあるため、硬い物体に対しても紙が折れ曲がらず力が一点に集中し、深い切れ込みが見られた。以上より、物体を切断する能力には、紙の薄さだけでなく、対象の硬さに負けない剛性が必要であることが示唆された。

キーワード： 紙の厚さと切られる物体

Ⅰ. はじめに

紙の端で指を切るという日常的な体験から、どのような条件が揃ったときに紙は「刃物」として機能するのかに興味を持ち、本研究を行うことにした。 人間の皮膚を正確に模倣するとされる弾道ゼラチン「スラブ」を用い、小型ロボットを使い異なる角度で紙を押し付ける実験が行われていた。最も切れやすい紙の厚さは $65\,\mu$m であることが示された。(Arnbjerg-Nielsen et al., 2024)。先行研究から人間の肌の硬さ以外の物においての紙の切れやすさについてを課題として見つけた。本研究の目的は切られる対象の硬さによって切れやすい紙の厚さが変化するかを調査することである。また、実用的な観点から、刃物がない場合に紙で物を切るための最適な条件を見出すことを目指した。鋭利な刃物はよく切れるが紙が垂直に入る可能性は低いと考え、硬度が低い物質は薄い紙の方が切れ、硬度が高い物質は厚い紙の方が切れるという結果を予想した。

本実験では、異なる厚さの紙を固定し、それぞれ異なる硬度の物体（本実験では寒天を用いる）に押し付けた。寒天を作る際の水の量によって硬度を変化させた。寒天は乾燥寒天 5.01g を水に浸し切り刻み、そのあと水道水 400mL に寒天を入れ、沸騰してから 5 分間ガラス棒で撹拌したその後紙コップに 75mL ずつ入れ、その後に水道水を 5、10、15、20mL 加水して撹拌したのちに冷蔵庫に入れて固めた（加水した水道水が少ない順に硬度①、②、③、④として数字が大きい方が硬度が高いとしている）。まず寒天をカッターで同じ大きさの一辺 3cm の立方体にした。その後寒天を台車に乗せて切れ込みが入る方向と平行に固定した。次に鉄製スタンドを用いて紙を固定し、進行方向と並行に台車に乗った寒天を衝突させた。 速度の変数制御のために一定の傾きで台車と紙との距離を 10cm にして台車を離した結果の測定については、それぞれ 10 回行い、弾道ゼラチンに入った切れ込みの深さを計測し、平均をとった。切れ込みが深いほど「切れやすい」と定義し、データの比較・考察を行った。

コメントの追加 [暁高1]: この前に、先行研究からどんな課題を発見したのか明記しましょう。そのうえで、本研究の目的が続きます。

II. 手法

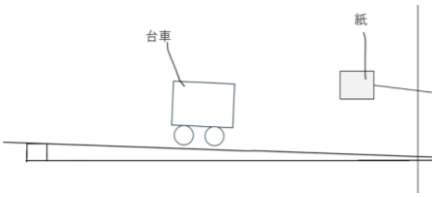


図 1　台車と紙の衝突実験

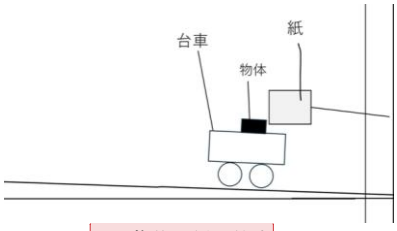


図 2 物体と紙の衝突

III. 結果

表 1 紙の厚みと切れ込みの深さと物体の硬度

紙の厚さ	④	③	②	①
0.09mm	1.5cm	1.8cm	1.6cm	1.8cm
0.42mm	2.0cm	1.9cm	1.8cm	1.8cm
0.76mm	0.0cm	0.0cm	0.2cm	0.6cm

※硬度④>③>②>①

このデータから紙の厚み 0.42mm の紙が総合的に物体を切りやすいという結果が得られた。また 0.76mm の紙での実験では切られる物体の硬度が小さい方が切れやすいという結果が得られ、0.42mm の紙では切られる物体の硬度が大きい方が切れやすく、0.09mm の紙ではあまり切られる物体の硬度による相関は見られなかった。

IV. 考察

本研究では当初、硬度が低い物質は薄い紙が、高い物質は厚い紙が切れやすいという相関を予想した。しかし実験の結果、中間の厚さである 0.42mm の紙が物体の硬度を問わず最も深い切れ込みを記録し、単純な厚さと切れやすさの比例関係は見られず、予想とは異なる結果となった。この要因として、紙の「鋭利さ」と「剛性」のバランスであると考えた。厚さ 0.76mm の紙は剛性が高く折れ曲がりにくいが、厚みがあるため鋭利さに欠け、物体を切断する前に対象を押し潰してしまったと考えられる。 対照的に、最も薄い 0.09mm の紙は鋭利ではあるものの剛性が不足しており、硬い物体に衝突した瞬間に紙自体が屈曲し、力が分散したことで切れ込みが浅くなったと推測される。

結果として 0.42mm の紙が最適であったのは、硬い物体との衝突に耐えうる「剛性」と、対象に食い込むための「鋭利さ」を兼ね備えていたためである上より、紙が「刃物」として機能するためには、単に薄いだけでなく、対象物の硬さに負けずに力を一点に集中させるための一定の厚みが不可欠であることが明らかになっ実験の結果、紙の厚みが の場合に最も物体を切りやすいという結果が得られた。厚さ 0.76mm の紙において硬度が小さい方が切れやすいという結果になったのは、紙が厚いために鋭利さよりも、対象物を押し潰す力が先行したためと推測される。一方で、厚さ 0.42mm の紙では値の差が小さく測定誤差とも考えられるが硬度が高い方が切れやすいという逆の相関が見られた。これは、のバランスに起因すると考えられる。硬い物体に対しては、薄すぎる紙では物体に触れた瞬間に紙自体が屈曲してしまい、力が分散される。しかし、ある程度の厚みがあれば、硬い対象物に対しても紙が折れ曲がらずに力を一点に集中させることができ、結果として深い切れ込みを実現したと推察できる。0.09mm の紙において硬度による相関が見られなかったのは、紙の厚さが薄く紙の屈曲が起きたためだと考えた。先行研究と結果が異なるのは紙の固定の仕方に余裕を持たせたため切れ込みが入る瞬間に安定感がなかったからだと考えた。今後の展望としてはより多くの種類の厚みの紙で実験し、またより多くの種類の硬度の物体を切る実験をすることで日常的に物が切れやすい条件がわかると考えた。

V. 結論

人間の指とは異なる硬度の物体を切ると 0.09、

コメントの追加 [暁高2]: 図がしょぼいかも･･･。

0.42、0.76mm の紙の中で総合的に最も切れやすいのは 0.42mm の紙であった。一方で物体の硬度による切れやすさは紙の厚みが薄いほど相関が小さくなった。

謝辞

本研究では SSH 担当教員の方々から様々なアドバイスや器具の貸し出しなど援助をもらい実験を完了することができました。特に担当だった高橋暁先生の、また他の先生方一年間お世話になりました。

文　献

Arnbjerg-Nielsen, S. F., Biviano, M. D., and Jensen, K. H. (2024): Competition between slicing and buckling underlies the erratic nature of paper cuts. Physical Review E. https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.110.025003[Cited 2025/06/15] .

紙通販ダイゲン ： 紙の厚さについて. https://www.kamitsuuhan.jp/paper/thickness.php [2025/06/15] .

富沢印刷株式会社（2022）: 紙と湿度の関係. https://10330.co.jp/maniac-paper-humidity/ [Cited 2025/06/16] .