

チョークの接合

宮城県仙台第三高等学校

いま、世界ではSDGsへの関心が高まっている。高校生の私たちがSDGsに貢献する方法を考えたとき、SDGsの12番「作る責任 使う責任」に注目した。学校での資源に関する問題として、短くなったチョークがそのまま捨てられることが考えられる。この問題を解決するために、短くなったチョークを砕いて水と混ぜ、チョークの接着剤を作る方法を考えて。実験では、水とチョークの粉の比率や乾燥時間を調べ、耐久度をテストした。その結果、チョークの接着剤からチョーク本体を作り、6日以上乾燥させれば良いという結論に至った。

1 背景

現在、持続可能な開発目標（以下、SDGsと記す）が世界中で注目されている。しかし、いまだ解決には程遠いという現状がある。高校生という、大規模な研究や長期間にわたる研究をできない立場である私たちが、SDGsに貢献できることはないかと考えたときに、短くなって使えなくなってしまったチョークを、そのままゴミ箱に捨てる現場をみて、チョークを再利用することで資源に関する問題であるSDGsの12番目の目標である「作る責任 使う責任」の面で貢献できるのではないかと考えた。先行研究として刈谷高校¹⁾の「なんでも再生チョーク」という研究を参考にしたところ、水とチョークを細かく砕いて粉にしたものを12.5 g:3.00 gの比率で配合しそれを乾燥させれば、チョークづくりに丁度よいとあった。しかし、先行研究の問題点として書き心地が悪いことや書く際にすぐに折れてしまうといった、耐久性の問題点が挙げられていた。私たちは実用的なチョークを作成するために、耐久度の面に着目し、それを解決する方面で研究を進めた。

2-1 仮説1・実験1

仮説1：チョークの粉と水を合わせたもの（以後チョークの接着剤と記す）からチョークを作成するとき、耐久度に問題が生じると考え、一から作成するのではなく短いチョーク同士をこのチョークの接着剤で接合することで、製品のチョーク部分が筆記を担当し、チョークの接着剤がチョークどうしをつなぎ、かつ筆記も担えろと考えた。



図1 チョーク同士の接合

実験1：チョークどうしの接合

- ①短いチョークを乳鉢で細かく粉にする。
- ②チョークの粉と水を先行研究と同じ12.5 g:3.00 gの配合で混ぜ合わせ、チョークの接着剤を作る。
- ③2cmほどになった短いチョークをつなぎ合わせた後、1日乾燥させ耐久度を調べる。

2-2 実験1の結果と考察

結果：仮説1では、短いチョークが接着されると考察したが、乾燥させたのちに手に取るとすぐに崩壊してしまった。

考察：乾燥している最中に、接着剤の水が蒸発することで、接着剤部分の密度が低下し、強度が低下したと考えられる。接合時に工夫をすることでより強く接合することができると考えた。

3-1 仮説2・実験2-1

仮説2：実験1の考察より、接合部分の面積を多くすれば、より強く接合できると考えられる。そのため、チョークに対する接合面に角度をつけることで、面積を多くすることができると考えた。

実験2-1：接合時に、チョークに対する接合面の角度を変化させ、接合の面積を増加させた。（図3）このとき、断面積の比はそれぞれ $90^\circ : 60^\circ : 45^\circ : 30^\circ \approx 1 : 1.15 : 1.41 : 2$ となった。

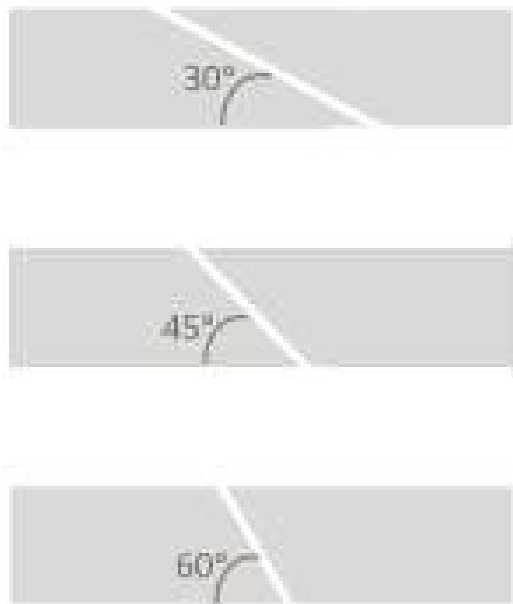


図3 チョークの接合図

3-2 実験2-2

実験2-2：実験2-1で作成したチョークに対して耐久実験を行った。耐久実験ではまず2つの机の間にチョークを置き、次にチョークの中央にひもを結び、フック付きの重りを100g吊した。3秒間耐えたらまた100gの重りを追加して行き、チョークが折れた時の重りの重さを記録した。この実験を、y軸の方向

(①)とz軸の方向(②)の両方で行った。

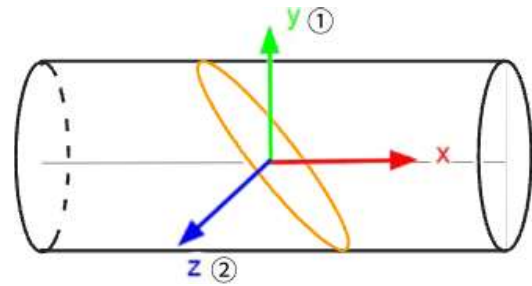


図4 力の加え方

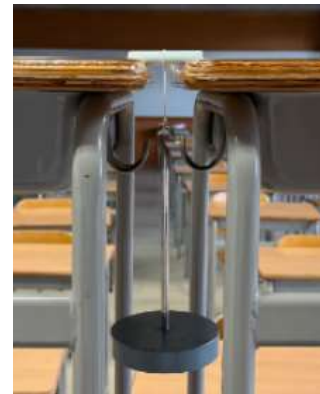


図5 耐久実験

3-3 実験2-1,2の結果と考察

結果：30°、60°、90°では持った瞬間に崩壊した。したがって、45°のチョークでのみ実験を行った。45°のチョークで実験を行った結果、y軸の方向の時は2.0kg、z軸の方向のときは3.9kgで折れた。このことから、接着面積によって接着力に違いが出ると考えた。

考察：チョークの断面につける角度が小さくなるほど、強度が低い部分が増えてしまうため全体的な強度の低下に繋がったと考えられる（図5）。このとき角度による強度と断面積の変化の仕方は反比例のような関係であると考え、45°の時に最も強い強度を示したのは断面積による接合力の増加と、角度が小さくなることによる材質の強度の低下のバランスが最も良い状態となったからだと考えられる（図6）。

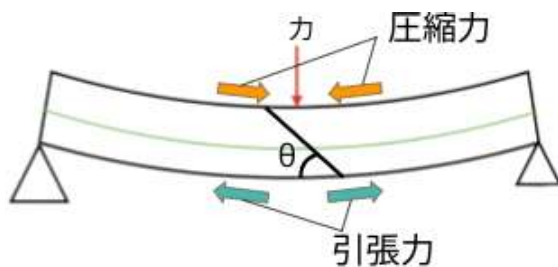


図6 チョークに力を加える図

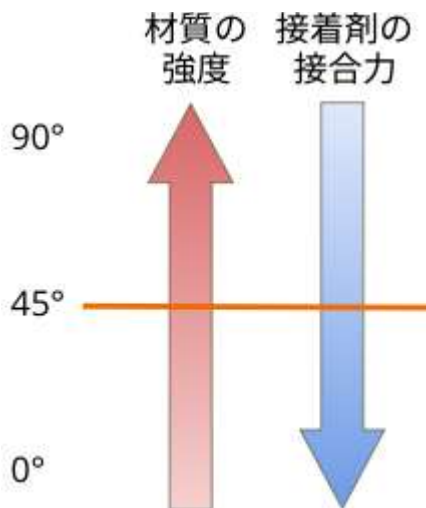


図7 角度と強度、接合力の関係

4-1 仮説3・実験3-1

仮説3：実験2の結果より、書く時の方向により強度に差が出てしまうのは、チョークの再利用をするという当初の目的に沿っていないと考えられる。そこでわたしたちは、先行研究と同じように、一からチョークを作ることによって目的や問題点を解決できると考えた。先行研究では、一から作る際には乾燥時にラップを用いて乾燥させていたため、ラップではなく、型を用いて圧力をかけることでより強度が増すのではないかと考えた。

実験3-1：実験3-1では、3Dプリンターで作成したチョークの型を用いて、一からチョークを制作する実験を行った。方法としては、まず、チョークを砕いて粉にし、それをふるいにかけて粒を均一にし、そして、チョークの粉と水の比率を12.5 g:3.0 gで計量し、混ぜ合わせて手で成形する。最後に成形したものを型に入れ、クランプで加圧した状態で一週

間乾燥させた。このようにして、一からチョークを作成した。



図8 3Dプリンターで作成した型

4-2 実験3-2

実験3と同様に、2つの机の間にチョークをのせ、チョークの中央に100gのフックつき重りを糸でくくりつけ、3秒耐えたら100gずつ重りを追加していき、折れたときの値を記録した。

4-3 実験3-1,2の結果と考察

結果：黒板に書いても簡単に折れることはなく、チョーク自体の見た目や書き心地、色の濃さ共に新品のチョークとほとんど同じだった（図10）。しかし、再生チョークは新品のチョークよりも折れやすく、そして、その再生チョークの断面を見てみるといくつかの空洞があった。

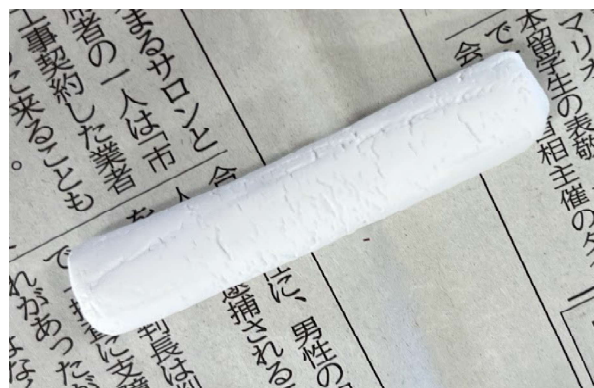


図9 作成したチョーク

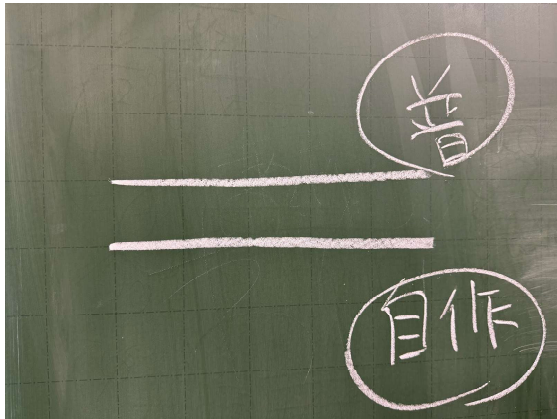


図10 色の濃さの比較

考察：新しくチョークを作成することで、チョーク全体の強度が一定になったと考えられる。また、乾燥時に強い圧力をかけたことで密度が高まったため、書き心地、色の濃さの問題が改善されたと考えられる。新品のチョークよりも折れやすいという問題は、チョーク内部の空洞によるものであり、それは内部に残った水の気泡であると考え、内部が十分に乾燥しきっていなかったのではないかと考えた。

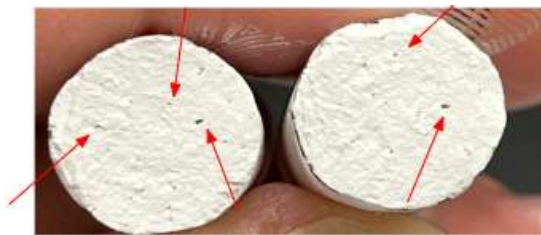


図11 制作したチョークの断面

5-1 仮説4・実験4

仮説4：乾燥日数が長いほど強度が増加する考えた。また、ある日までは強度が単調増加し、ある日を境に横ばいになっていくと考えた。

実験4：一日4本ずつ7日間チョークを作成し続け、8日目にすべてのチョークの耐久実験を行った。チョークは実験3-1と同様の方法で作成した。耐久実験はこちらも実験2-2と同様の方法で行った。

5-2 実験4の結果と考察

結果：ほとんど予想と一致し、乾燥日数が長いほど強度が増加し、5,6日目で強度が大きく変化しなくなった（表1）。



表1 乾燥日数と耐久値のグラフ

考察：5日目から6日目にかけて急激に強度が増加した理由は、6日目にチョーク内部が完全に乾燥したためだと考えられる。

6-1 耐久度の比較

わたしたちは、耐久力を曲げ応力度を用いて比較した。

6-2 曲げ応力度とは

曲げ応力度とは曲げ応力を断面二次モーメントで除したものである。また、曲げ応力とは、曲げられた際に生じる応力であり、断面二次モーメントとは材質と形状、寸法によって決まるその物体の折れにくさを表したものである。断面二次モーメントが大きいとその物体が折れにくいと言え、このときの断面二次モーメントは図12のz軸から離れたところにある面積が大きいほど大きくなり、同じ材質、寸法でも力を加える方向が異なると大きさが変わる。



図12 ”曲がりやすさ”とは
また、曲げ応力度は次式を用いた。

$$\sigma = \frac{Md}{2I_z} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

ここで、

σ は曲げ応力度、 M は曲げモーメント、 d はチョークの直径、

I_z は断面二次モーメント、 π は円周率とした。

6-3 乾燥日数と曲げ応力度

表2に示すのは、乾燥日数と、それぞれの曲げ応力度の表の一部である。

	耐久(g)	曲げ応力度	理想値との比較	各日の平均
一日目	500	41031.61	0.13	0.17
	800	65650.57	0.21	
	500	41031.61	0.13	
	800	65650.57	0.21	
二日目	1800	147713.78	0.47	0.41
	1200	98475.86	0.31	
	1600	131301.14	0.42	
	1700	139507.46	0.44	
三日目	2700	221570.68	0.71	0.73
	2200	180539.07	0.58	
	3200	262602.28	0.84	
	3100	254395.96	0.81	
四日目	2800	229777	0.73	
	3300	270808.6	0.86	

表2 乾燥日数と曲げ応力度の表

6-4 制作したチョークと市販のチョークとの比較

表3に示すのは、制作したチョークと、市販のチョークの曲げ応力度との比較である。

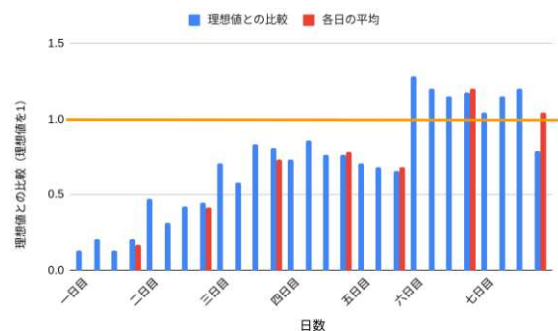


表3 理想値との比較(理想値を1とした)

6-5 曲げ応力度の比較による考察

表3より、乾燥が三日目を過ぎると急激に値が理想値へと近づいているのが分かる。そして、一度五日目で少し降下した後、六日目で増加し理想値とほぼ同じ値になっているのが分かる。このことから、乾燥の日数を重ねることで曲げ応力度による比較をしても新品のチョークと同じ強度になると考察できる。

7-1 結論

- ・チョークを再利用するためには、接合ではなく、新しく作成するほうが適している。
- ・チョークの粉と水を**12.5g:3g**で混ぜ合わせ、それを**型を用いて六日以上乾燥**させるこ

とで、短くなったチョークを再び新品のチョークの様に使うことができる。

8 参考文献

- 1:刈谷高校 なんでも再生チョーク
<https://kariya-h.aichi-c.ed.jp/school/ssh/ssh2/image/H281021-4.pdf>
- 2:曲げモーメントとは | 記号・単位・モーメント図の書き方・公式を解説
<https://kakunin-shinsei.com/bending-moment/>
- 3:石川敦 香坂文夫・絵とき応用力学 改訂2版・オーム社, 1998.
- 4.材料力学 すっきり理解できる断面二次モーメントの意味【材力Vol. 6-5】
https://secondinspire.com/zairiki/vol6-5moment_of_inertia/
- 5.材料力学 曲げによる応力の考え方を徹底解説【材力Vol. 6-6】
https://secondinspire.com/zairiki/vol6-5moment_of_inertia/
- 6.金型部品の断面二次モーメント
https://jp.misumi-ec.com/tech-info/categories/plastic_mold_design/pl07/c0464.html
- 7.曲げモーメントとは,2022.10.16
<https://kakunin-shinsei.com/bending-moment/>