

## 第 11 話 チョークの破壊面はどのような形ですか

2007 年 11 月 30 日 作成

萩原芳彦

図 1 は授業等でよく使われる普通のチョーク（白墨）である。また、図 2 はこれをふたつに破壊させたものである。どうやったらこのような形に壊れるであろうか。この問題も材料力学の初学者に聞くといろいろな答えが返ってくる。



図 1

結論を言えば、チョークをねじると図 2 のようならせん状に壊れる。なぜであろうか。その原因はチョークの脆さにある。チョークのように脆い材料（脆性材料）は一般に引張りの垂直応力の影響を強く受けて破壊する。すなわち、チョークのある場所の引張り応力が限界値を超えるとチョークはその応力の作用面において破壊する。

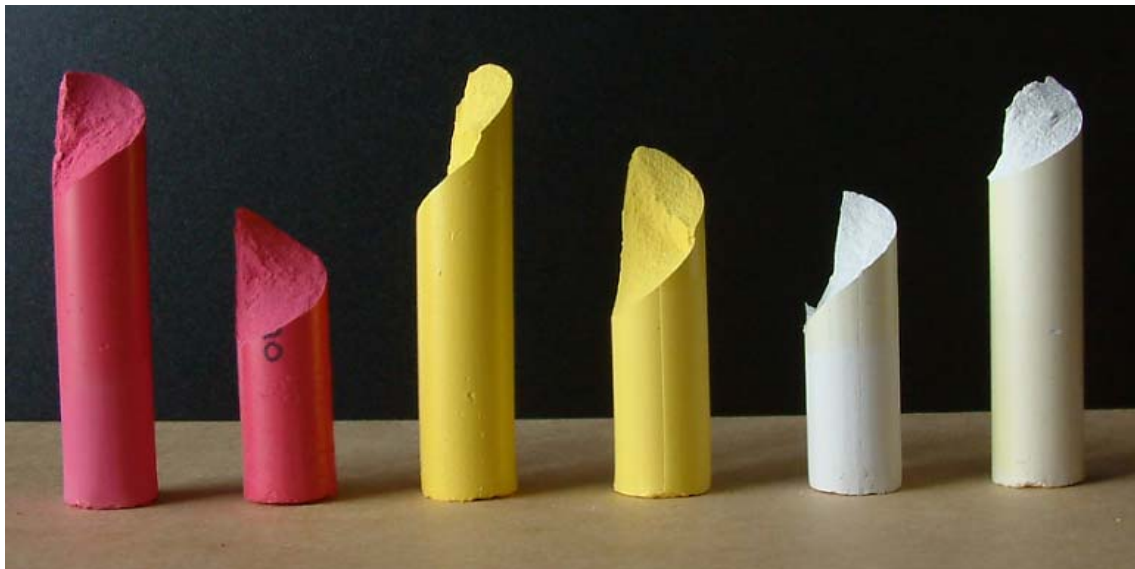


図 2

図 3a のようにチョークと同じような丸軸 AB がねじられた状態における、例えば軸表面 C の軸方向に垂直な面と円周方向に垂直な面の応力状態は図 3b のように表され、垂直応力は存在せず、せん断応力だけが存在する。このような応力状態を示す場合を**単純せん断**と呼ぶ（よくわかる材料力学、7, 8 章）。

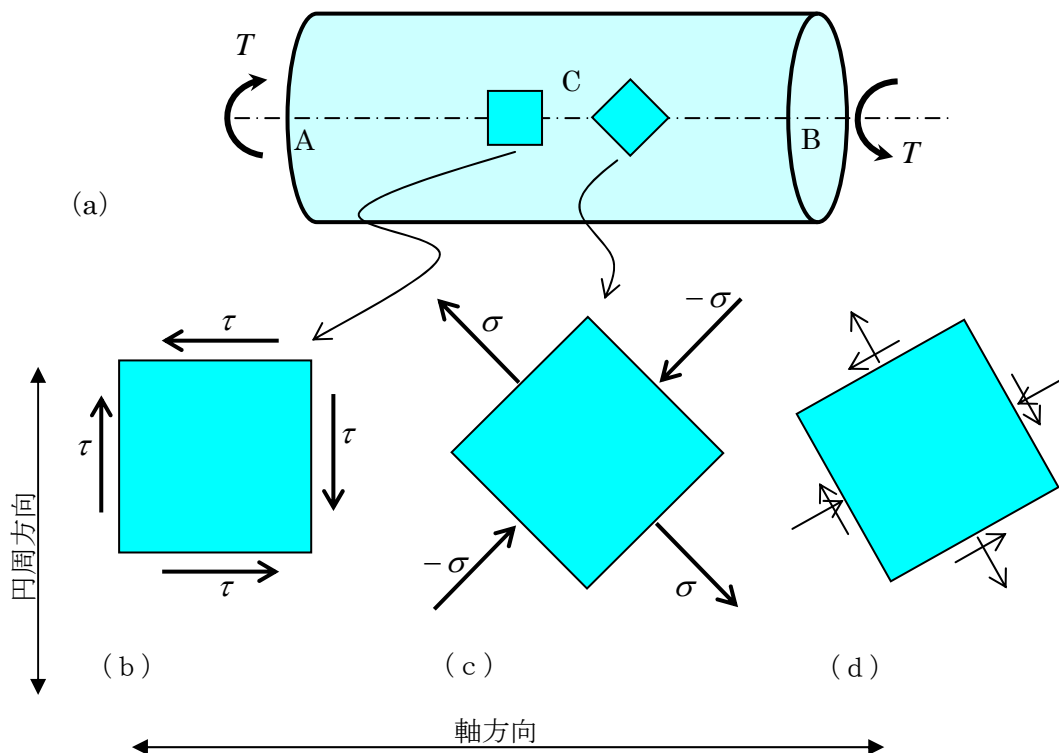


図 3

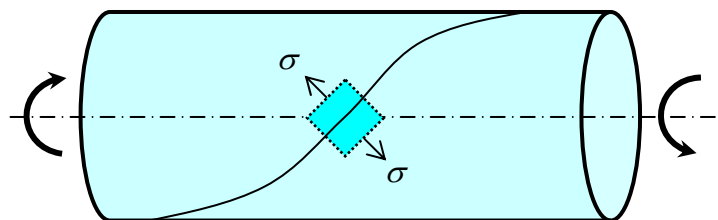


図 4

単純せん断状態の場所において垂直応力が零となるのはこれらの面だけであり、その他の面では垂直応力は零ではない。また、垂直応力が最大値あるいは最小値をとる面は、その面が軸方向と45度の傾きをなす図3cの面となる。チョークのようにもろい材料（脆性材料）は上述のように垂直応力が最大となる面で破壊し易いため、円形断面のチョークは45度傾いた面が破壊面となり、破面は図4のようならせんに沿って生ずることになる。なお、この面ではせん断応力は零となっている。このように、せん断応力が零となる面に生ずる垂直応力を**主応力**と呼ぶ。

単純せん断においてせん断応力が最大あるいは最小となるのは図3bの面であり、図3dのように図b、c以外の面では垂直応力、せん断応力ともに存在する状態となる（「よくわかる材料力学」、8章参照）。



(a)



(b)クリップの破壊面



(c)



(d)針金の破壊面



(e)

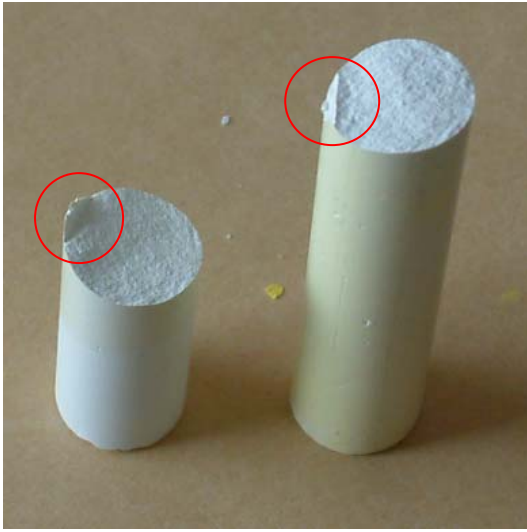
図5

チョークとは異なり、塑性変形しやすい延性に富む材料（**延性材料**）の場合には一般に塑性変形が生じた後に破壊する。塑性変形はせん断応力やせん断ひずみによってもたらされるため、図 3 のせん断応力が最大となる面、すなわち軸の横断面に沿って最終破壊が起きやすい。身近なものである、図 5a のような金属で出来たクリップあるいは第 8 話で示したハンガーの針金などをねじって破壊させると図 5b や d のようにチョークの場合と異なり、横断面が破面となる。理想的なねじり実験では同心円状の破壊面の状況が得られるが、手でねじっているため曲げの影響もあり、同心円から若干ずれたものとなっている。ねじ切るにはかなりの量、ねじり続ける必要があるが、試すのはそれほど大変なことではない。

図 5c、e は側面から見たものであり、表面にらせん状のスジがついており、ねじられた様子がわかる。クリップは直径約 1mm、ハンガーは直径約 2mm の針金であり、接写のできるデジタルカメラで撮影したものである。

一方、チョークを引張ったり曲げたりしたときの破壊の様子を示したものが図 6 である。いずれも手で破壊させているため厳密なことはいえないが、図(a)は曲げて破壊した場合であり、圧縮側に斜めの破面ができる（赤丸内）、図(b)は心持ち引張りながら曲げて破壊した場合、図(c)は単に引張って破壊した場合の破面である。肉眼で見ても破面には微妙な違いが出ていることがわかり、このような実験でもき裂がどのような方向に進展したか、き裂の起点はどこかなどもある程度判断できる。

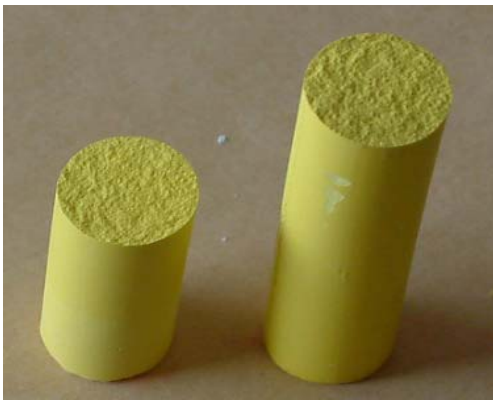
このような破壊面の様子を調べる学問分野を**フラクトグラフィ** (Fractography,破面解析) と言う。フラクトグラフィとは英語の **Fracture** (破壊) と **Photography** (写真撮影) の合成語である。ここに示した写真はいわば肉眼での破壊状況であり、巨視的な観察であるが、一般には光学顕微鏡、電子顕微鏡等を用いた微視的な観察も行われ、巨視的、微視的両面からの解析を総合しつつ固体の破壊メカニズムの解明や破壊事故原因の究明に役立っている。ただし、破壊面とは物体が壊れた後の痕跡を示しているものであり、破壊の進行中における状況を直接示しているのではないことは頭の中に留めておく必要がある。



(a) 曲げによる破壊



(b) やや曲げての引張り破壊



(c) 引張りによる破壊

図6 チョークの曲げ、引張り破壊の様子