

三本の矢を折る

～毛利元就の知恵、「三本の矢」の強度はどれくらい？～

1. 目的

戦国武将である毛利元就は仲の悪い三人の息子に「矢は一本だとたやすく折れてしまうが、三本まとめると折れにくい。だから三人で結束して毛利家を守ってほしい。」と言ったということを本で読んだ。簡単に言うと、「一本の矢はすぐ折れるけど、三本に束ねたら、強さが倍増して強くなる。」ということである。一本の矢を三本にして束ねることで、太さが太くなるために強くなるという理論であり、それは現在にも通用する。

気になったのは、本当に三本の矢は強いのか、頑張れば折れるのではないのか、一本の時と三本の時とではどのくらいの強度の違いがあるのか、三本の矢を折るためにはどれくらいの力が必要なのかということである。この研究では一本と三本の強度の関係について研究し、矢、三本の大体の強度を求める。

2. 方法

(1) 使用した材料・器具

・竹串：矢を使いたかったが、手に入らなかったのが、矢の寸法（長さ 90cm 前後、太さ 10 mm 程度）の約 3 分の 1 縮尺の、長さ 28cm、太さ 3 mm の BBQ 用の串（竹）を使った。



・手ばかり：最大 10kg まで測れるもの

図① 竹串

(2) 実験装置の組み立て

支点間を 10cm に保てるよう、木材を図②のように組み立て、間を挟んだ両端の木材に鉄ヒートン（手前、5 mm、奥、13 mm、）をつけそこに矢に見立てた竹串を通し、鉄のワイヤーに手ばかり（最大 10 kg）をつけた。

矢に見立てた竹串をヒートンで固定し、竹串の真ん中に力が加わるようにワイヤーをかけ、手ばかりを引っ張り、竹串が折れた時の重さを破壊の強さとする。

原則として、気温、湿度による竹串の強度の変動は考えないこととする。尚、竹串にかかる重さ（N）の中には手ばかりの重さ（133g）が含まれている。



図② 実験装置

3. 実験の種類

実験 1 : 一本と三本の矢の強度

実験 2 : 二本の矢の強度

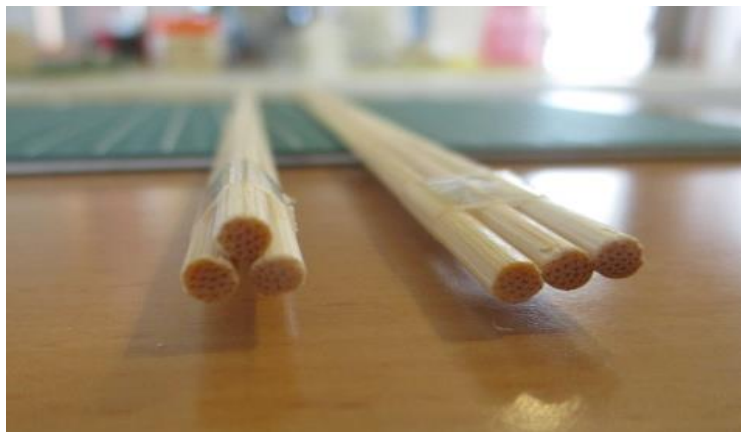
実験 3 : 四本の矢の強度

実験 4 : 一本、二本、三本、四本の時の撓みの大きさの測定

4. 実験 1

(1) 目的 : 竹串の一本の時の強度と三本の時の強度を比較する。

(2) 方法 : 図②の実験装置の 5 mm のヒートンに竹串一本を通して、手ばかりで折れるまで引っ張る作業を三回繰り返し、その平均を求める。そして 13 mm のヒートンに二種類の束ね方 (図③) の物をそれぞれ通して一本の時と同様に力を加える作業を三回繰り返し、それぞれ平均を求める。



図③ 三本の竹串の束ね方 2 種類

(3) 仮説 : 仮に一本の矢の強度を x とするのであれば、三本の場合は単純に約 3 倍で $3x$ になるのではないかと考える。

(4) 結果

表 1 一本の強度

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
竹串 (一本)	34N	42N	35N	37N

表 2 三本の強度

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
	64.0N	64.0N	68.0N	65.3N
	60.0N	65.0N	63.0N	62.7N

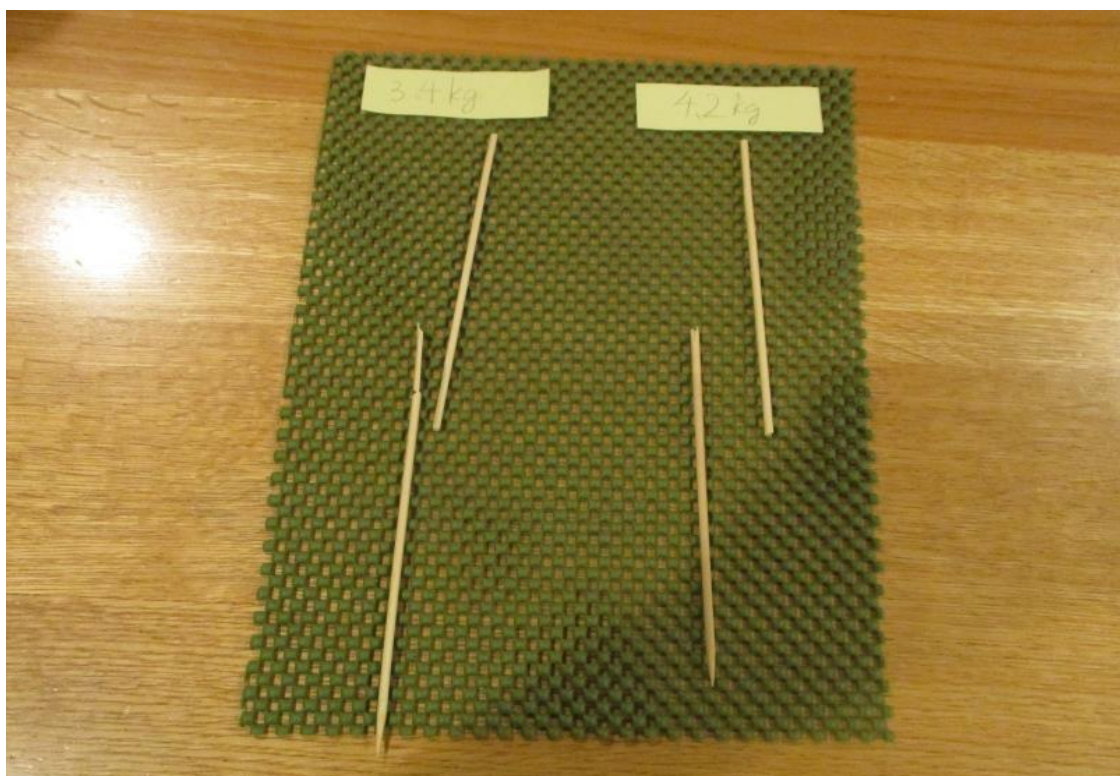
三本は一本の約 1.76 倍

(5) 考察

竹串一本で **37N**まで耐えられた。竹串三本では **65.3N**まで耐えられたという結果だった。三本の強度は、一本の強度の三倍あると思っていたが、計算すると、約 **1.76** 倍であった。

三本の竹串では、三角状のものが、横一列状のものよりも僅かに強かった。その要因の推測として、縦の幅があるものの方が強いと考える。

一本の竹串は、**34N**で折れた物から、**42N**で折れた物まで差が大きくあいていたことを不思議に思ったので、竹串をよく調べてみた。太さを調べたが、**3 mm**と同じだった。そこで折れ方の違いを詳しく見てみた。下の図④がその写真だ。左が **3400N**で折れたもの、左が **4200N**で折れたものだ。**34N**で折れたものは、黒い点をつけた面を上にして考えると、上の部分が長く残った状態になっている。右の **42N**で折れたものは、真ん中を示す黒い点でポッキリ折れている。右のものは、**42N**で一気に折れたことが考えられる。左の物は力を加えていくにつれて、じわじわと折れていったと考えられる。そのようなことが起こった要因としては、竹串の一本一本の繊維の強度の違いがでたのだと考える。個々の差がこの結果をもたらしたのだと考える。



図④ 竹串の折れ方

(6) 結論

竹串を使った実験の結果、三本の矢は一本の矢より強い。しかし、三本の矢は、一本の矢の3倍になるのではなく **1.76** 倍になる。

・一本の強度の **3** 倍が三本強度になるわけではなく **1.76** 倍になることが分かったが、果たしてそれは比例関係にあるのかを実験 2 で検証する。

5. 実験 2

(1) 目的：竹串が二本の場合の強度を求める、一本、二本、三本の強度は比例関係にあるのかを検証する。

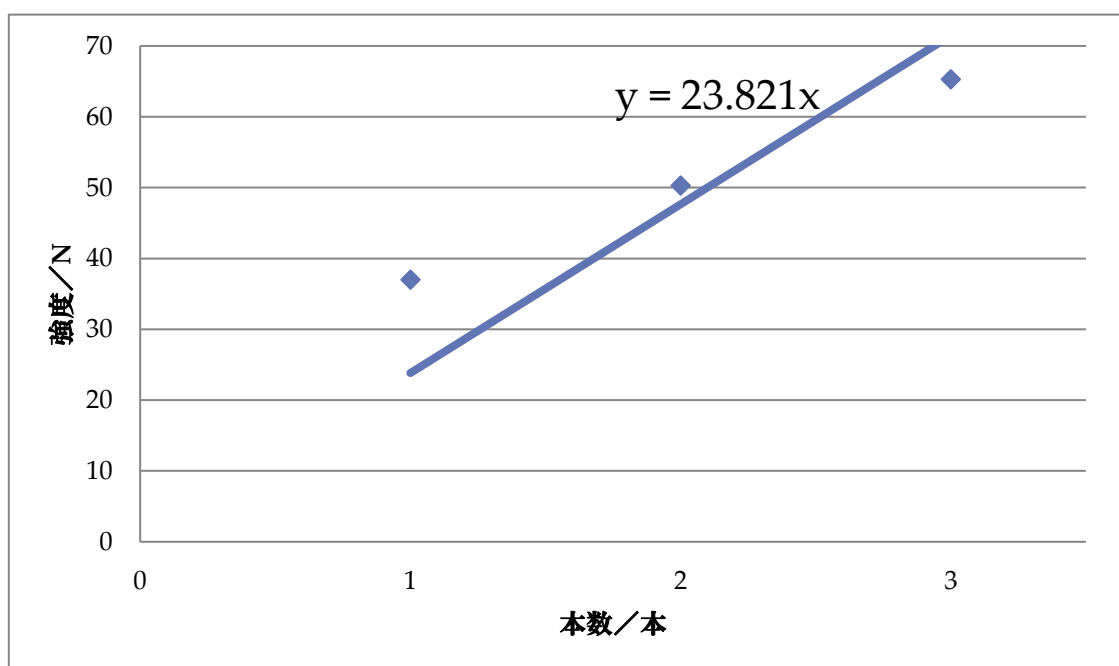
(2) 方法：実験 1 と同様に、二本で束ねた竹串を 13 mm のヒートンに通し、引っ張る作業を三回繰り返し、平均を求める。

(3) 結果

表3 二本の強度

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
竹串(二本)	52.0N	49.0N	50.0N	50.3N

二本は一本の約 1.36 倍



図⑤ 一本、二本、三本の関係

(4) 考察

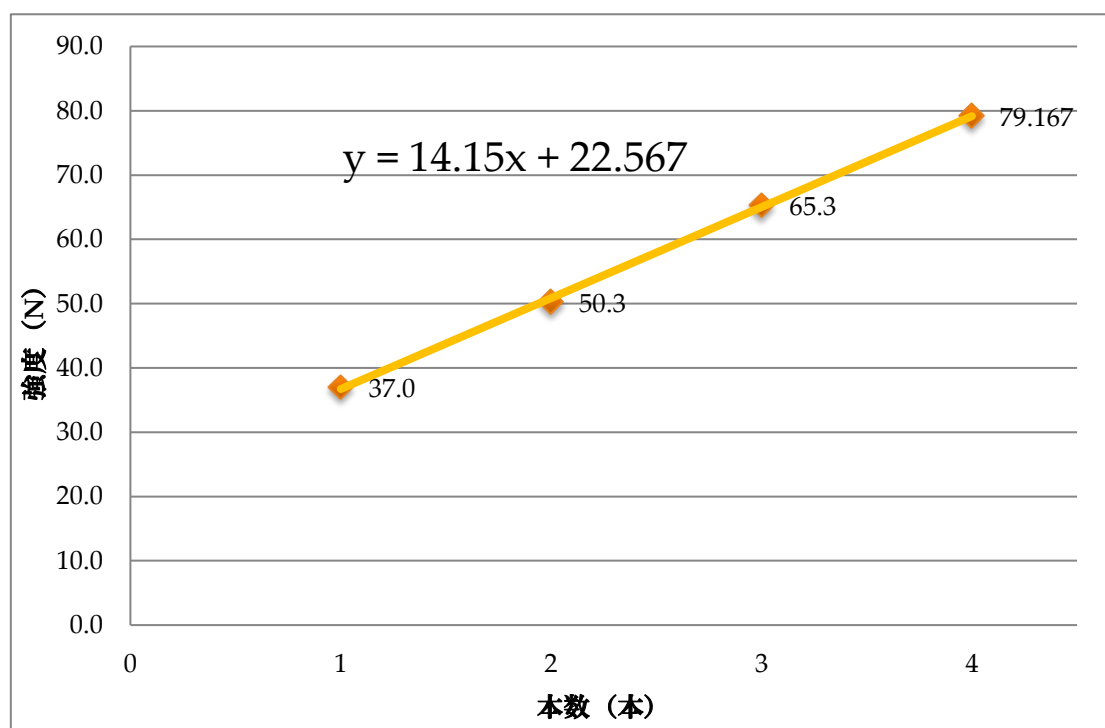
二本の時は、37 N と 65.3 N の中間、51.2 N だと予測した。結果は、50.3 N だったので、少し誤差はあるものの、予測通りだった。

図⑤を見ると、一本、二本、三本では、強度は強い正の比例関係になっている。

(5) 結論

二本の竹串を使った実験の結果、二本の矢は、一本の矢よりも強く、三本の矢よりも弱い。また、二本の矢は、一本の矢の 1.36 倍になっていて、一本、二本、三本の強度は比例関係になっている。

・これらの実験の結果から仮説を立てる。実験 1 及び実験 2 の結果より四本の強度を予測する。



図⑥ 一本、二本、三本の強度の結果化から予測する四本の強度

実験 1 と実験 2 の図⑤の 1 次関数の式より四本の強度を求めてみた。すると、 $y = 14.15 \times 4 + 22.567$ より、四本の強度は **79.167N** になった。そこで竹串四本の強度は約 **79.167N** という仮説を立て、果たしてそれが本当かを次の実験 3 で検証する。

6. 実験 3

(1) 目的：竹串四本の際の強度を検証する。

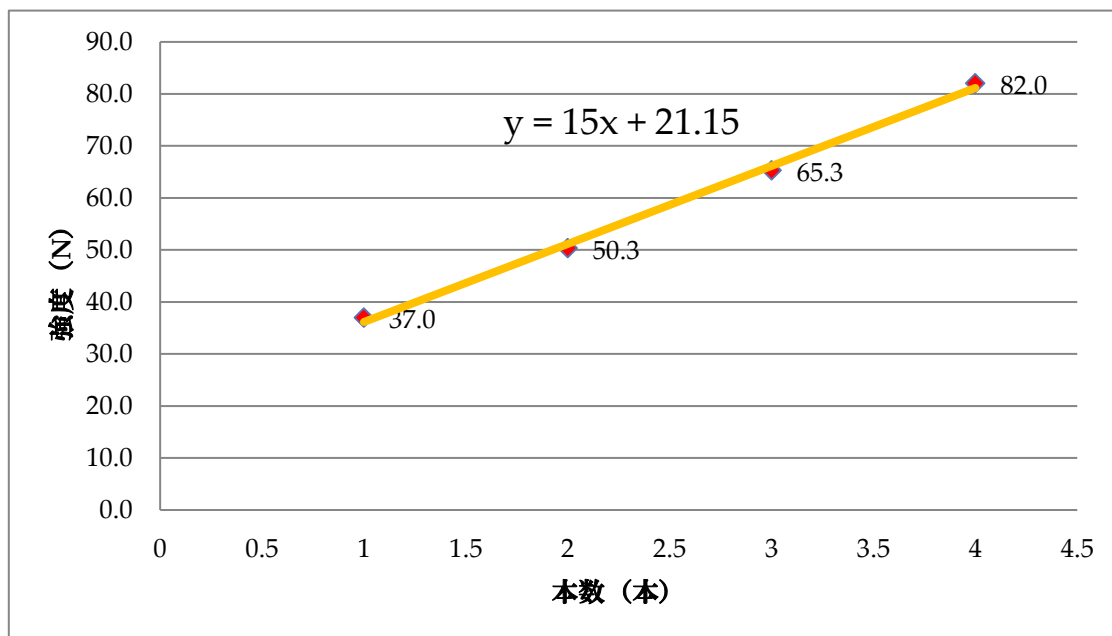
(2) 方法：実験 1、実験 2 と同様の方法で、四本に束ねた竹串を引っ張る作業を三回繰り返し、強度の平均を求める。

(3) 結果

表4 四本の強度

	一本	二本	三本	平均
竹串(四本)	81.0N	84.0N	81.0N	82.0N

四本は一本の約 2.22 倍



図⑦ 一本、二本、三本、四本の関係

(4) 考察

図⑦より、一本～四本でも強い正の比例関係がある。

(5) 結論

仮説通りの **79.167N** にはならなかったが、平均で **82.0N** と、仮説に近い結果になった。

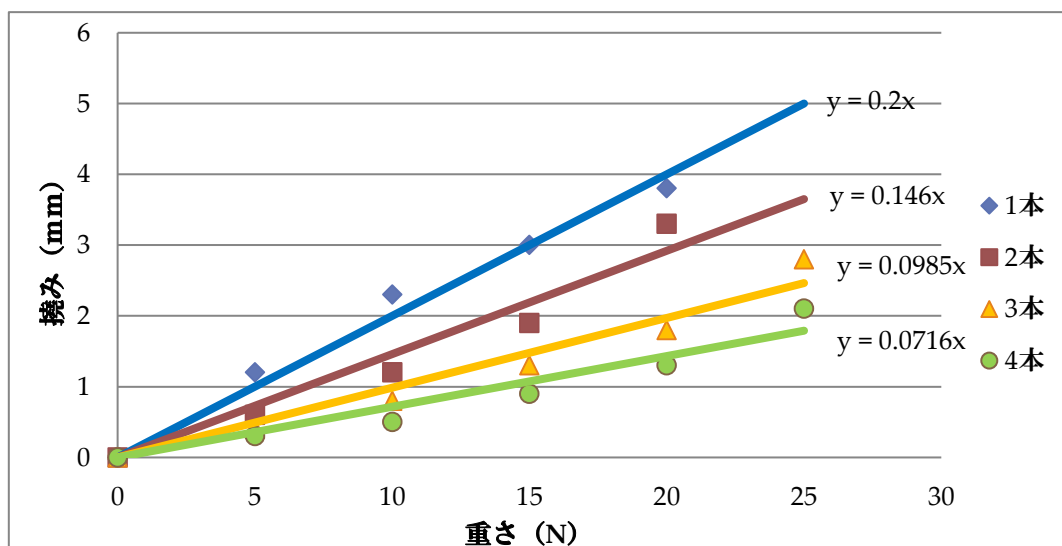
四本の場合も比例関係がある。

7. 実験 4

- (1) 目的：竹串を引っ張った際の、撓みの大きさを一本、二本、三本、四本のそれぞれで確認する。
- (2) 方法：図①の実験装置を使い、竹串に手ばかりを付ける。そしてそこに 500g (5N) ずつおもりをぶら下げていき、最大 **2500g(25N)** までぶら下げ、撓みの量を、ノギスを使用して測定する。三本の時の束ね方は強度が大きかった三角状のものとする。重さに耐えられず折れてしまったところは測定不可能とする。
- (3) 結果

表5 撓みの量

	5N	10N	15N	20N	25N
一本	12 mm	23mm	30 mm	38mm	測定不可
二本	6mm	12mm	19mm	33mm	測定不可
三本	4mm	8mm	13mm	18mm	28mm
四本	3mm	5mm	9mm	13mm	21mm



図⑧ 撓みの量

(4) 考察

一本は二本より、二本は三本より、三本は四本より撓みの大きさが上回ることはなかった。

一本の撓みの比例定数を、四本の比例定数で割ると **2.79** 倍、三本の比例定数で割ると **2.03** 倍、二本の比例定数で割ると **1.36** 倍になった。多少の誤差はあるが、撓みの量は強度の倍率とほぼ同じになっている。

二本の撓みの量は 1500 g まで、0.6~0.7 mm ずつ増えていたが、2000 g まで至ると、一気に 1.4 増えた。同じく三本の場合も 2000 g まで 0.4~0.5 mm ずつ増えていたが、2500 g に至ると、一気に 1 mm 増えた。

(5) 結論

撓みの実験の結果、四本<三本<二本<一本の順にたわみが大きくなる。また、撓みの大きさは強度とほぼ同じ倍率で増えていく。

8. 結論

四本は一本の **2.22** 倍強く、三本だと一本の約 **1.76** 倍強く、二本だと一本の約 **1.36** 倍であり比例関係にある。

撓みの量は三本>二本>一本という順に撓みが大きく、その倍率は強度とほぼ同じであり、これもまた比例関係にある。

実際の矢の場合、単純計算で、この竹串の **3×3** 倍 (**9** 倍) で、強度は表 **6** のようになる。

表6 矢の強度

矢の本数	強度
一本	333.0N
二本	452.7N
三本	587.7N
四本	738.0N

一本の矢は **333.0N**、kgに換算すると、**33.3** kgと頑張れば折れるが、三本の矢を折るには **587.7N**、kgに換算して **58.77** kgもの力が必要になってくる。

とても怪力でない限り三本の矢は折ることは出来ない。

上より、「矢は一本だとたやすく折れるが、三本にまとめると折れにくい。」ということは真実。

9. 感想

この研究は「この結果が出たから、こうなるのだ。」という風には中々至らず、自分では「難しかった」と思う。しかし、三本の矢は一本の矢の3倍にはならないことや、撓む量は強度に関係することなど、発見が沢山あった。

今回は、竹材である竹串で実験を行ったが他にもたくさんの木材があり、その種類によって、重さ、密度が変わってきて強度も変わってくると思う。木材の種類によっての強度の違いについても調べていきたい。