

15. 紙は、どこまで強くなるか PART 3

～究極のペーパーブリッジを求めて～

静岡市立清水第一中学校

1 動 機

紙という素材の可能性を確かめようと、これまでの二年間はペーパーブリッジによる実験を進めてきた。その折り方、まとめ方などで紙は強度を増し、人間の重さにも絶えられるほどの強度を誇ることが明らかになった。この事実には本当に驚いた。その強度を確実に知らせめたのは、ニュージーランド大地震で倒壊した教会の修復で、再建物に紙素材が活用されたことが報道され、より一層クローズアップされた。（日本人が設計したそうだ。）

これだけ紙の可能性が研究された中で、自分の三年目の研究では、「素材を変えてみるべきだろうか。」「更に強度を増したものを突き詰めていこうか。」など様々な考えを繰り返した。そんな中で、この実験を始めた時のことを思い出した。折った（折り目をつけた）だけで強さを増し、重さに耐えた感動を・・・だったら、原点に戻って、研究を進めることにした。つまり、『より少ない材料で、より重さに強いペーパーブリッジが作れないだろうか。』というチャレンジである。

こうして、ペーパーブリッジの継続研究パート3に取り組むことにした。過去の二年を踏まえつつ、自分なりの究極のペーパーブリッジの完成を目指して研究を進めていこうと決意した。

2 目 的

本研究では、過去2年の研究を生かし『より分量の少ない紙（軽量）でより重さに耐える（強度）ことのできる究極のペーパーブリッジ』を創り上げることを目的とする。その際、負荷を一定（1 kg）として据え置き、より分量の少ない（軽量）究極のペーパーブリッジを考察していく。そして以下のような仮説を設定した。

【研究の仮説】

ペーパーブリッジの構造や折り方などを工夫すれば、橋の重さの200倍を超える負荷にも耐えられるであろう。

究極のペーパーブリッジとしての目標数値として、負荷 1 kg に対して二百分の一となる 5 g を設定した。5 g 以下の重さ（紙の量）で橋になるのかという不安はあったものの、やること（軽量化と強度を両立させる）がはっきりして研究を進めていけそうだ。



負荷用の重り（1,000 g）
（マグネットシート）

3 方 法 《実験の条件》

- ・ A 4 ケント紙の使用。橋の幅は 20cm、橋げたとなる箱のサイズは縦 26cm、幅 8 cm、高さ 12cm とする。
- ・ 接着に対して糊、セロハンテープ等は使用可能とする。
- ・ 橋に負荷をかける重さは 1 kg とする。（バランスよく負荷をかけ重さが均等にかかるマグネットシートを使用する。）



《実験の予想》

※ケント紙 1 枚の重さは 12.2 g であり、目標数値は A 4 サイズの半分以下の分量で 20cm を超える長さの橋を完成させなければならない。昨年までの研究の成果を踏まえ、3 つのポイントを意識してペーパーブリッジ制作に取り組んだ。

ポイント 1 構造には蛇腹折りを取り入れる。(過去の研究で有効であった。)

ポイント 2 立体(円柱・四角柱・三角柱)を取り入れる。

(人間の体重にも耐えられる。)

ポイント 3 橋げたとのひっかかりを工夫する。(軽量化につながるのではないか。)

4 内 容

(1) 実験 1

(蛇腹折り+三角柱)の構造【制作開始時の重さ 11.5 g】→負荷(1 kg)をクリア

- ・負荷に耐えられる構造として過去 2 回の研究で実績のあった構造の組み合わせ。
- ・橋の全長、橋げたへの補強部分に紙を多く使用したため重くなってしまった。

☆反省を踏まえて改造をした。

→(全長は 21 cm まで短く。補強部分を取り除くことで 2.5 g 減量に成功した。)

【改造時時の重さ 9.0 g】→負荷(1 kg)をクリアした。

実験 1 での結果

10 g 以下の橋でも 1 kg の負荷に耐えることができる。全長は 21 cm で成功できる。
(橋げたとの引っかかりは 5 mm 程度でも十分機能する。)

(2) 実験 2

(蛇腹折り+バンド)の構造【制作開始時の重さ 9.5 g】→負荷(1 kg)をクリア

- ・軽量化を目指すため、実験 1 から立体構造をやめ、蛇腹のみの構造としたが、負荷がかかった際、折り目が広がってしまう弱点が予想されたので、3 本のベルトを巻くことで克服した。
- ・この構造に自信があり、少しずつカットし、軽量化を進めていった。



☆反省を踏まえて改造①

(全長は 21 cm まで短く。バンドを細くすることで 1.6 g 減量に成功)

【改造時①の重さ 7.9 g】→負荷(1 kg)をクリアした。

☆更に改造②

(幅を狭める。バンドを更に細くすることで 1.4 g 減量に成功)

【改造時①の重さ 6.5 g】→負荷(1 kg)をクリアした。

☆更に改造③

(両幅をカット。バンドを細くすることで 0.9 g 減量に成功)

【改造時③の重さ 5.6 g】→負荷(1 kg)をクリアした。

☆更に改造④

(バンド数を 3 から 1 にし、更に両脇をカットすることで 1.3 g 減量に成功)

【改造時4の重さ 4.3 g】→負荷(1 kg)をクリアした。目標値クリア

実験 2 にして仮説通りの 200 倍の重さに耐えることのできるペーパーブリッジができた。



実験 2 での結果

蛇腹折りの構造によって、5 g 以下のペーパーブリッジが可能である。
(ペーパーブリッジの重量の200倍の負荷に耐えることができる。)

(3) 実験 3

(立体：三角柱) の構造【制作開始時の重さ 12.2 g】→負荷(1 kg)をクリア

- ・立体構造は丈夫だが、軽量化が難しいと思われた。

しかし、三層構造だったところを二層構造にすることで軽量化に成功した。(※接着のりの分はなかなか難しい)



↑ 改造後の構造

☆改造→(三層→二層により 3.7 g 減量に成功した。)

【改造時時の重さ 8.5 g】→負荷(1 kg)をクリアした。

実験 3 での結果

立体(三角柱)の構造は非常に強度に優れているが、軽量化が難しく、三角という形状のため錘のバランスがとりずらくなる欠点があることが分かった。

(4) 実験 4

(立体：三角柱+ひっかかりを工夫) の構造

【制作開始時の重さ 8.5 g】→負荷(1 kg)をクリアした。

- ・橋げたへのひっかかり方を工夫し、ただ乗せていたものから突っ張り棒のようになるようにした。(写真)



しかし、思ったような軽量化にはつながらなかった。

※この橋げた接触部分の構造は、次の実験のヒントになった。



実験 4 での結果

置くのではなくひっかけるという考えは良かったが、力のかかる部分を把握しなければ弱点になってしまうということがわかった。

(5) 実験 5

(立体：四角柱 1 本+ひっかかり) の構造【制作開始時の重さ 2.9 g】

- ・実験 3・4 を参考に、二層構造の四角柱 1 本、橋げた部をひっかかりにした。(右：写真)

- ・強度が心配であったが、負荷(1 kg)を軽々クリアした！(驚愕)

☆更に軽量化できないものかと考え、三角柱を取り入れた改良型を採用することにした。

錘のバランスを考えて、三角形を逆三角形にした。(写真)

これによってペーパーブリッジの重量は驚愕の 2.1 g を記録した。あとは負荷に耐えられるかどうかであったが、みごとに成功した。ぎりぎりではあったが、480 倍もの重さに耐えることの



できる。究極のペーパーブリッジにたどりつくことができた。

〈実験 5 の結果〉

単純な立体構造にひっかかりをつけただけであったが、究極ともいえるペーパーブリッジを完成することができた。



5 結果の考察

- ・蛇腹折り、立体ともに 1 c m 間隔で折り目をつけた。
→折り目をたくさんつけることで強度が増す。
- ・接着部に課題→接着部は弱くなるため、構造で補強したり、のり以外に工夫したりが不可欠。
- ・支点、力点、作用点の法則をよく理解する必要がある。
→支点までの距離や力点の分散化を考慮した構造を考えていく必要がある。

実験結果からは、単純でシンプルな型の橋がつくられ、結果（2.1 g）を出した。軽量化は、基本型（スタンダード）に戻るといふことなのかもしれない。

今後の課題として、複数の紙を使って制作した場合に、接着部、つなぎの強度確保が今まで以上に研究していく必要がある。また、デザインの必要性を感じる。余分な飾りではなく力学をとりこめるようになれば、更にレベルアップし研究が深まっていくと考えられる。

6 研究を終えた感想

紙の可能性を探ってきた 3 年間、究極のペーパーブリッジをつくろうと研究してきたが基本となる考え方は小 6 の時と変わることはない。やはり、基本は大事だということだ。

紙は生活の中で身近な素材であるが、こんなにも可能性を秘めている。3 年間の研究では、まだまだ十分ではないのかもしれない。

紙を基にした建造物も開発されるようになり、「軽くて、加工しやすく、丈夫」という人間にも優しい素材をこの研究で味わうことができた。テーマ設定や条件整備などにもっと工夫や狙いがはっきりすると可能性が広がる。

本研究では、1 つの橋を作るごとに、もっと軽量化できないか、もっと丈夫にできないか、ということを念頭において研究が進められた。これはまさに、人が様々な物を発明し、よりよい生活をしていくための過程に似ている。良い追究ができたと思う。