

折紙構造の変形特性に関する基礎的検討

阿南高専 正会員 ○森山卓郎
(株) ウインズ 非会員 矢野和樹

1. 目的

近年、工学分野において、日本古来の折紙を応用した折紙構造により、実用的で機能的な技術が生まれている。折紙構造の特性は、折りたたみ展開機能と高強度の構造にする強化機能の大きく2つに分類できる。前者の例として、「ミウラ折り」による宇宙ソーラーパネルなどがある。後者の例としては、チューハイやコーヒーなどの飲料缶に見られるようなダイヤ形状の凹凸のあるパターン加工などがある。

また、使用する材料が同じ量であっても、形態によって構造物の強度は異なる。例えば1枚の紙の1辺を握って片持ちばりのようにした場合、紙が平らであるとその自重を支えることは出来ない。しかし、紙を折り曲げることで、自重だけでなく若干のおもりを載せることも可能になる。

そこで本研究では、折紙の強化機能の特性に着目し、その有効性の確認と最も有効なパターンを明らかにすることを目的として、折板構造、ダイヤカット、反転螺旋型構造の3種類について検討を行った。これらについてA4サイズの画用紙を加工して模型を作成し、簡易的な装置による載荷実験から荷重-変位関係や変形状態の観察などを行い、変形特性の検討を行った。

2. 実験方法

2.1 折板構造に関する実験

折り目を加えないものと画用紙の横方向と縦方向の分割数を 6×6 、 6×8 、 6×10 と変化させたものを用意し、半円状の模型を作成した。この模型の上におもりを100gずつ載せていき、ダイヤルゲージを用いて変位を測定した。おもりは、模型が崩壊するまで載せていった。変形の様子についても観察した。

2.2 ダイヤカットに関する実験

折り目を加えないものと画用紙の横方向と縦方向の分割数を 6×4 、 6×6 、 6×8 、 6×10 と変化させ、円筒状にした模型を作成した。模型に対して横方向の載荷試験と軸方向の載荷試験を行った。いずれの試験においても、ダイヤルゲージを用いて変位を測定した。変形の様子についても観察した。

2.3 反転螺旋型構造に関する実験

画用紙に折り目を加えないものと折り目におけるある角度を 30° 、 35° 、 40° 、 45° 、 50° と変化させ、円筒状にしたものを作成した。作成した模型を50cmの高さから500gおよび735gのおもりを落下させ、おもりの落下前、落下直後、おもりを取り除いた後の模型の高さを測定した。変形の様子についても観察した。

3. 実験結果および考察

3.1 折板構造に関する実験

折板構造の実験によって得られた荷重-変位図を図1に示す。折り目を加えない模型での実験では、100gのおもりに耐えられずに変位が急増したために、正確な変位の測定ができなかった。折り目がある3種類の載荷実験では、折り目が多いほど耐荷力が向上し、剛性も大きくなることが確認できた。折り目が多い場合では荷重が分散され、1つの折り目への負担が小さくなることが考えられる。

3.2 ダイヤカットに関する実験

横方向載荷の場合の実験によって得られた荷重-変位図を図2に示す。折り目がない模型では100gのおもりにすら耐えられなかったが、折り目がある模型では耐荷力が向上した。したがって、横方向から荷重が加わる場合にはダイヤカットは有効であることがわかる。また、折り目の数を変化させた場合では、折り目が多いほど同じおもりの大きさにおける変位が小さくなり、剛性が大きくなることもわかった。これらの理由として、折り目が多いほど荷重が分散するために、1つの折り目への負担が小さくなったことが考えられる。

軸方向荷重の場合の実験によって得られた荷重－変位図を図3に示す。折り目を加えない模型では、おもりを載せた場合であってもあまり変形せず、変位はほとんど見られなかったが、折り目がある模型では、変位が大きくなっている。特に、折り目の数が多いほど同じおもりの大きさにおける変位が大きくなり、剛性は小さくなっている。軸方向荷重では、ダイヤカットの折り目が多くなるほど模型全体が蛇腹状に近くなるために変形しやすくなったことが考えられる。

3.3 反転螺旋型構造に関する実験

反転螺旋型構造の動的荷重実験を行ったときの模型の高さの変化を図4に示す。折り目のない模型では、おもりによる衝撃力が加わっても模型の上縁が変形したのみで大きい変位量は見られなかったが、折り目のある場合では変形が大きくなることがわかった。反転螺旋型構造を有する場合では、おもりによる衝撃力が加わった際に、対応する折り目が互いの回転を打ち消すように折り畳まれたことが確認できた。折り目の角度の変化に伴って、変形量も変化することも確認できた。おもりが落ちた時の衝撃力を小さくするには、模型がゆっくり変形することで、おもりの接触時間を長くすればよいので、大きく変形するものほどおもりの落下による衝撃力が低減できることが考えられる。

4. まとめ

本研究から、以下のことが明らかになった。

- 1) 折板構造の実験では、折り目を施すことで耐荷力が向上することがわかった。特に、折り目の数が多いほど耐荷力が大きくなる。
- 2) ダイヤカットの実験においては、軸方向荷重を受けた場合では、折り目が多いほど耐荷力や剛性が小さくなるが、横方向荷重を受けた場合では、折り目が多いほど耐荷力と剛性が大きくなる。
- 3) 反転螺旋型構造の実験では、折り目のない模型ではほとんど変形せず、衝撃力を吸収する様子が見られなかったが、折り目のある場合では模型が折りたたまれることで衝撃力が緩和された。また、折り目の違いにより衝撃力の吸収性能も変化する。今後の課題としては、より正確な測定結果を得るために画用紙の折り方や接着などの精度を上げること、反転螺旋型構造の実験において模型下部の伝達力を測定して衝撃力低減効果を検討すること、数値解析による検討を行っていくことなどが考えられる。

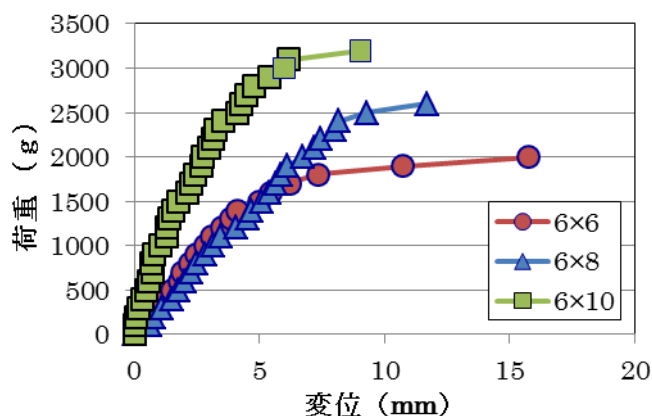


図1 折板構造の荷重－変位図

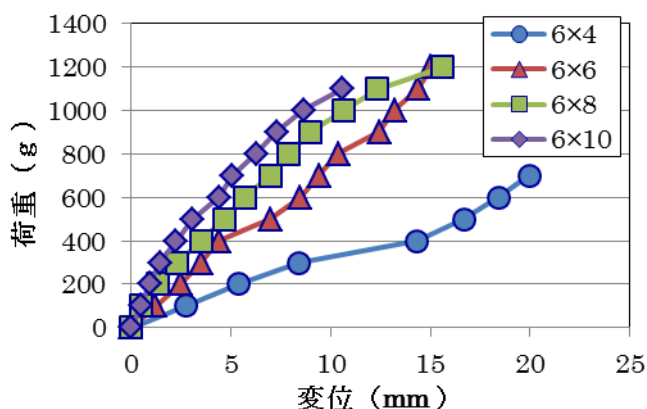


図2 ダイヤカット模型荷重－変位図（横方向荷重）

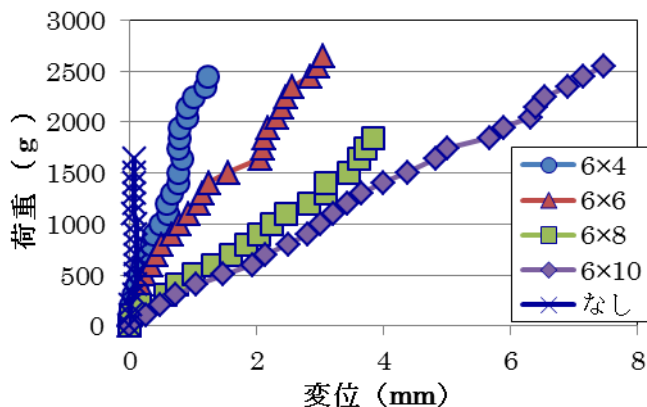


図3 ダイヤカット模型荷重－変位図（軸方向荷重）

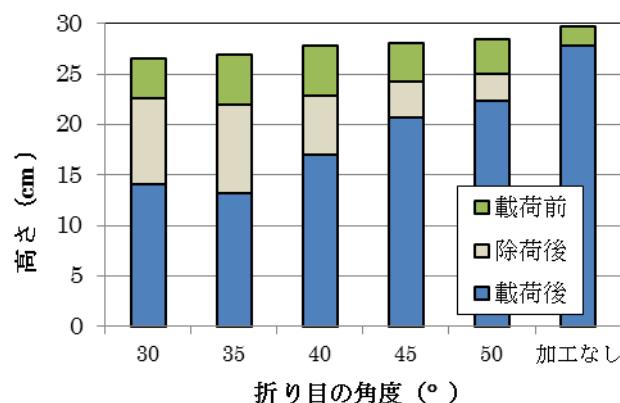


図4 反転螺旋型構造模型の高さ変化
(735gのおもりを落下させた場合)