

紙の高機能化と品質評価に関する研究（第4報）

— 段ボールの湿度環境変化を伴う静的圧縮試験 —
大平武俊*、佐藤幸泰*、亀山遼一*

Research on high function and quality evaluation of paper (IV)

- Static loading test with a humidity environment change of the corrugated fiberboard -
OHIRA Taketoshi*, SATO Yukiyasu* and KAMEYAMA Ryoichi*

段ボールは、標準状態（23℃、相対湿度 50%r.h）で評価された圧縮強度をもとに耐荷重を設定しているが、湿度の高い環境では破損が生じて問題となっている。そこで、高湿度環境でも利用できる指標の開発について研究した結果、湿度を上昇させる環境下で荷重をかける試験方法で、高湿度環境下で段ボールが座屈するまでの時間を推測できる可能性があることがわかった。

1. はじめに

段ボール箱などは積み重ねて利用することが多いため、荷重によって座屈・破損しないよう強度管理が重要である。このための試験として JIS 規格（JIS Z 0403-2）では、標準状態（23℃、相対湿度 50%r.h）において試料に圧縮荷重をかけていき、試料が座屈する時の荷重を測定する方法が定められている。段ボールの実際の使用時には、安全率を見込んで最大荷重の 1/3～1/5 を耐荷重として設定することが多い。ただ、このように3倍から5倍の安全率（最大荷重の 1/x とするとき安全率 x 倍という。）を見込んで、段ボールの使用環境が標準状態に近いとは限らず、特に湿度の高い状況においては破損を生じて問題となる。これは段ボールなどの紙類がセルロースなど吸湿性の高い素材で主に構成されているため、湿度が高くなることによって含水率が高くなることで強度に影響していると考えられる。このため、従来の標準状態下の試験による耐荷重だけでは強度管理上不十分で、紙業界からは高湿度の環境でも利用できる指標の開発が求められている。

そこで、本研究では新たな試験方法の開発を目指した。昨年度は、湿度を上昇させる環境下で荷重をかけ、座屈するまでの含水率と高さの変位との関係を測定する方法（以下、本研究で開発した試験方法を昇湿荷重試験法と称する）を検討した結果、高湿度環境下における段ボールの座屈危険性を推測できることが示唆された¹⁾。しかし、この方法は短時間で湿度を変化させたときの現象であるため、実際に段ボールを高湿度環境下で長時間使用したときの挙動を検証する必要がある。

そこで本年度は、高湿度環境下において段ボールが座屈するまでの時間（耐用時間）を、昇湿荷重試験法の結果から推測できるか検討したので報告する。

2. 実験

昨年度行った昇湿荷重試験結果を図1に示す。図1の

1/3, 1/5 はそれぞれ最大荷重の 1/3, 1/5 を負荷としてかけたときの挙動である。昇湿荷重試験法は、2時間程度で含水率を変化させて高さの変位を測定している¹⁾。紙は含水率が上昇すると伸びるため、高さは初めに上昇した後、荷重があると徐々に下降し始め、その後急速に下降、座屈する。図1から、各荷重において座屈の危険性が生じる含水率が予想でき、例えば図中 D, D' の含水率までは座屈危険性が小さいが、それ以上になると危険性が高まり、B, B' を超えると座屈する可能性が高いと考えられる。この昇湿荷重試験の結果を、高湿度環境下・連続使用時の耐用時間と対応させることができるか検証するため、一定の高湿度環境下で段ボールが実際に座屈するまで試験を行った。

具体的には、図1のグラフにおける高さが変化する点

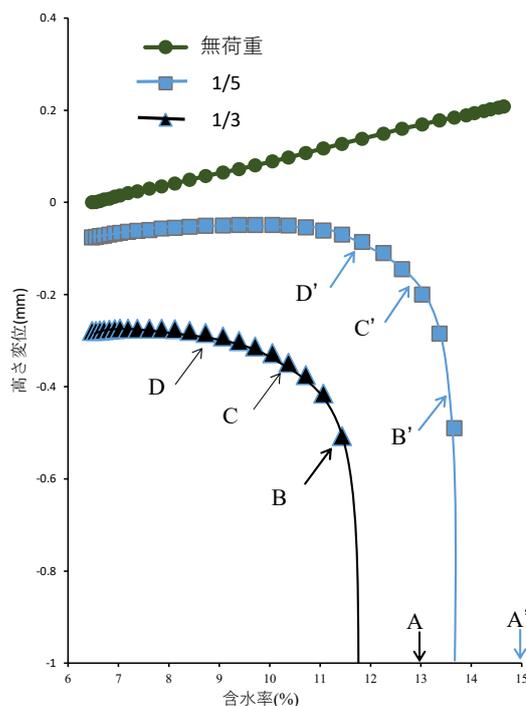


図1 昇湿荷重試験結果¹⁾

* 繊維・紙業部

(1/3, 1/5 それぞれの座屈時の含水率より高い点(以下、座屈越点)をA, A'、急速屈曲点をB, B'、屈曲中間点をC, C'とする。)に相当する条件下で、座屈するまで荷重試験を行った。試験条件の詳細を表1に示す。

紙製である段ボールは一定の湿度環境下におかれたとき、含水率は平衡状態に達する。各点における含水率から昨年までの研究で明らかにした「相対湿度と平衡含水率の関係¹⁾」(図2)により相対湿度を求め、恒温恒湿器の設定条件とした。

試験方法は、エンドクラッシュ治具に取り付けた試験片を恒温恒湿器庫内に設置し、おもりを載せて高さ変位を測定した¹⁾。

表1 試験条件

| 条件名 | 含水率 | 相対湿度 | 荷重条件 | 温度 |
|------|-------|---------|------|------|
| 条件A | 13.0% | 89%r.h. | 1/3 | 23°C |
| 条件B | 11.4% | 82%r.h. | | |
| 条件C | 10.4% | 77%r.h. | | |
| 条件A' | 15.0% | 93%r.h. | 1/5 | |
| 条件B' | 13.5% | 90%r.h. | | |
| 条件C' | 12.7% | 88%r.h. | | |

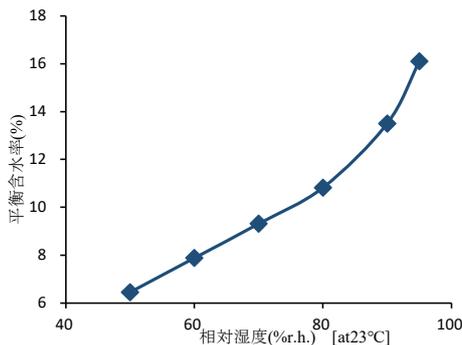


図2 相対湿度と平衡含水率の関係¹⁾

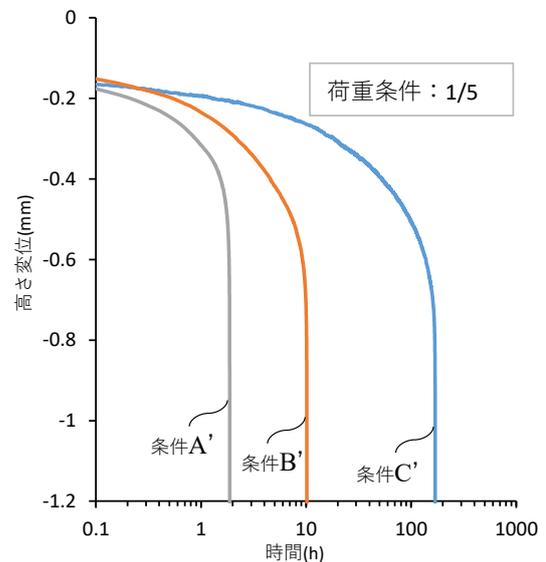
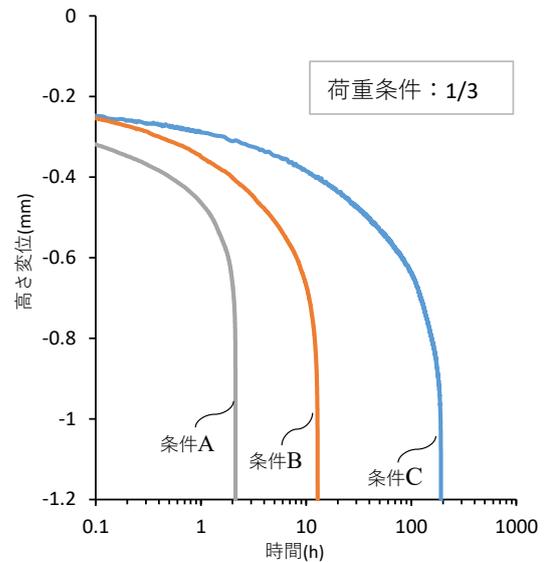


図3 高湿度環境下での座屈試験

3. 結果及び考察

試験結果を図3に示す。荷重条件1/3, 1/5ともに同様の結果であり、座屈超点の条件A, A'では試験片の高さが急速に下降し約2時間で座屈した。急速屈曲点の条件B, B'では徐々に下降し約10時間、屈曲中間点の条件C, C'では緩やかに下降し約200時間で座屈した。今回、荷重が1/3と1/5の2条件での検証であったが、このように昇湿荷重試験での特徴点を抽出することで、荷重条件が違ってもおおよその耐用時間を推測できる可能性があると考えられる。

また、前報の昇湿荷重試験の座屈予測図¹⁾では、C, C'は座屈危険域における中間点、B, B'は座屈域の開始点である。今回の連続使用時における検証からは、耐用時間について、座屈危険域の中間点で200時間、座屈域は10時間以下ということになり、妥当な数字になったと思われる。

今回のように実際に座屈するまで試験を実施するのに

は200時間以上の膨大な時間が必要であるが、昇湿荷重試験法は2時間程度の短時間で試験可能であり優位性があると考えられる。

4. まとめ

段ボールの高湿度環境でも利用できる指標の開発について研究した結果、湿度を上昇させる環境下で荷重をかける試験方法(昇湿荷重試験法)で、高湿度環境下で段ボールが座屈するまでの時間を推測できる可能性があることがわかった。今後、段ボールの種類の影響等について引き続き検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 大平ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.1, pp57-60, 2020