

紙の高機能化と品質評価に関する研究（第3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 (III)

- Static loading test with a humidity environment change of the corrugated fiberboard -

OHIRA Taketoshi*, SATO Yukiya* and KAMEYAMA Ryoichi*

段ボールは、標準状態（23°C、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。しかし、湿度の高い環境では破損が生じて問題となっており、高湿度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、湿度を上昇させる環境下で静的圧縮試験を行う手法について検討した。その結果、段ボールの高湿度環境下での座屈の危険性を推測する手法として利用できると考えられた。

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 規格では、標準状態（23°C、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、安全率を見込んでこの荷重の 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。以下同じ。）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とがある。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水分を多く含むようになることが強度に影響を及ぼ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。標準状態下における耐荷重試験として JIS 規格の代表的な方法にエンドクラッシュ法がある。本研究ではエンドクラッシュ法を準用し、湿度を変化させて耐荷重との関係を調査し、新指標の可能性を検討したので報告する。

2. 実験

2. 1 供試品

最も一般的に使用されている段ボール（A フルート、厚み：5mm、表裏面：K5 ライナー、中芯：120g/m²）を用い、紙試験のための標準状態（JIS P 8111、23°C、50%r.h.）で 24 時間以上調湿した後、試験に供した。

2. 2 従来法による圧縮試験

標準状態（23°C、相対湿度 50%r.h.）において、エンドクラッシュ法（JIS Z 0403-2: 1999）に従い試験片を压

縮し、座屈するまでの最大荷重を測定した。

2. 3 湿度上昇環境下における静的圧縮試験

2. 3. 1 湿度上昇環境下における静的圧縮試験方法

エンドクラッシュ法を準用し、一定荷重のもと湿度を上昇させながら圧縮試験を行った。

装置の概略を図 1 に示す。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（日立製作所製、EC-86MHHE）庫内に設置した静加重圧縮試験機に配置し、扉扉することなく恒温恒湿器の庫内で圧縮試験機の上部圧縮盤におもりを載せ、試験を行った。同時に上部圧縮盤の高さ変位量（（株）ミツトヨ製、ID-C125X）を計

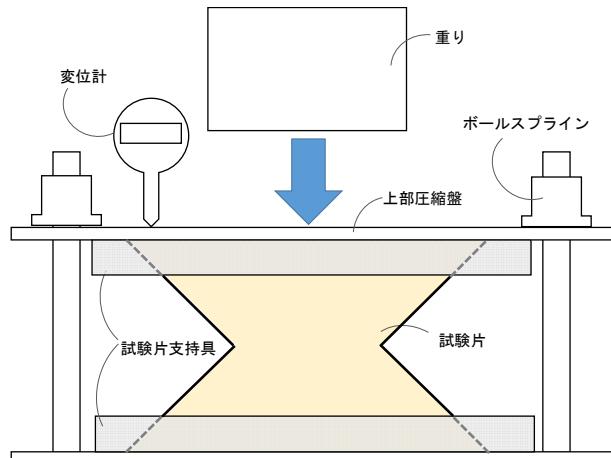


図 1 装置の概略

表 1 湿度上昇環境下における静的圧縮試験の条件

温度条件	23°C
湿度条件	50%r.h. → 0.4%r.h./min → 98%r.h. 30 分保持

* 繊維・紙業部

測した。温湿度の条件は表1のとおりとした。段ボールの耐荷重は、一般に圧縮試験の最大荷重値から安全率3~5倍程度を見込んで設定されることが多いことから、本試験のおもりは2.2項で求めた最大値の1/3と1/5とした（以下、1/3、1/5）。このほか比較のため、おもりをのせない試験も行った（以下、無荷重）。

また、強度には含水率の影響が大きいと考えられるところから、圧縮試験とは別に恒温恒湿器の中に試料を置いて重量変化を測定し、含水率を求めた。

2.3.2 平衡含水率測定

2.3.1項で測定した含水率は、湿度が変化していくときの含水率である。「湿度が変化していく時の湿度」と含水率の関係は、「湿度が一定時の湿度」と含水率との関係とは必ずしも一致しない。管理指標としては、湿度一定条件のもとでの予測が必要なので、2.3.1項で求められる含水率を「湿度が一定時の湿度」と関連づけるため、表2の条件で平衡含水率を求めた。

表2 平衡含水率を求めるときの条件

温度 (°C)	23
湿度 (%r.h.)	50, 60, 70, 80, 90, 95
調湿時間 (h)	24

3. 結果及び考察

3.1 従来法による圧縮試験結果

JISのエンドクラッシュ試験の結果、最大荷重は218Nとなった。耐荷重は1/3(安全率3倍)の場合72.7N、1/5(安全率5倍)の場合43.6Nとなる。

3.2 湿度上昇環境下における静的圧縮試験

湿度上昇環境下における静的圧縮試験（含水率と高さ変位の経時変化）の結果を図3に示す。段ボールは湿度の上昇に伴い吸湿し、その含水率は上昇していった。

一般的に含水率が強度に影響を与えていていると考えられている¹⁾ことから、図3の結果を含水率と高さ変位の関係にプロットし直すと図4のようになった。無荷重の試験では含水率の上昇に伴い伸長した。一方荷重をかけた試験では、含水率の上昇に伴い、初期は若干伸長するものの、その後変位が下がり始め、最終的に座屈が生じた。図4において、伸長が止まる点を①、①'、屈曲初期点を②、②'、急速屈曲点を③、③'とする。標準状態から伸長している間（図4の標準状態～①、標準状態～①'）の含水率では、荷重に耐えることができており、座屈の危険性はないと考えられる。屈曲初期点（同②、②'）でグラフが下降し始めており、荷重に耐えることができなくなり、座屈の危険が生じていると考えられる。急速屈曲点（同③、③'）の含水率では完全に座屈してしまうと考えられる。

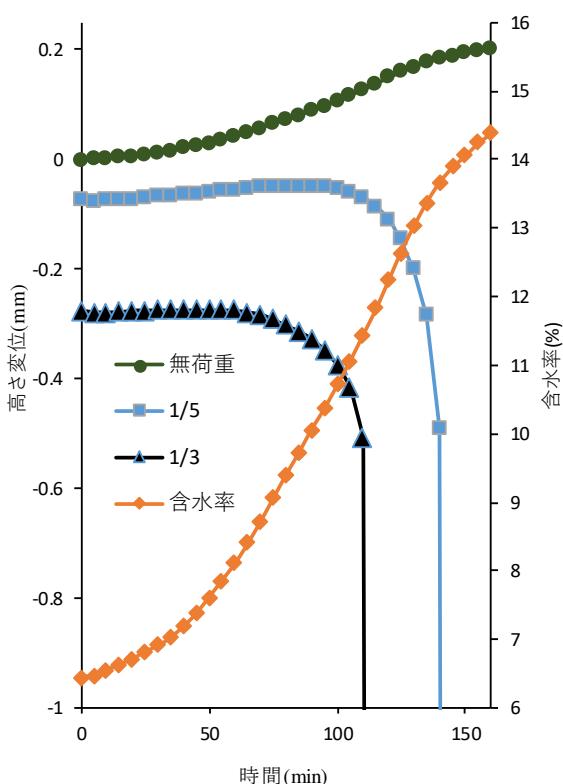


図3 湿度上昇環境下における静的圧縮試験
(含水率と高さ変位の経時変化)

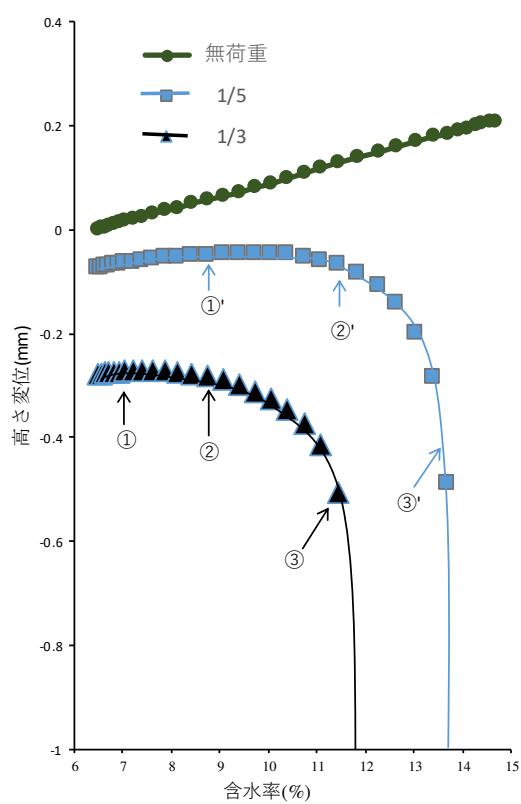


図4 湿度上昇環境下における静的圧縮試験
(含水率と高さ変位の関係)

こうした考え方に基づき、各安全率における3つの特徴点の含水率をプロットすることで、図5のような含水率に応じた「座屈危険性予測図」を作成できると考えられる。この図5において、例えば、安全率3倍で設計された段ボールは、使用環境の影響で含水率が約7%（図5①）までは座屈の危険性がなく、約8.5%（図5②）を超える時、段ボールの座屈の危険性が高まり始め、さらに約11.5%（図5③）を超えると座屈が生じる。

ただ、実際の段ボール使用現場において、いちいち段ボールの含水率を測定して管理することは現実的ではなく、環境湿度で管理できることが望ましい。使用現場では段ボールが長時間一定の環境湿度にさらされた結果としてある含水率になっていると考えられることから、湿度と平衡含水率の関係に基づき含水率を湿度に変換すれば良いと考えられる。今回使用した段ボールについて実験して求めた「湿度と平衡含水率」の関係を図6に示す。この図から各安全率における3つの特徴点の含水率を湿度に変換した結果を表3に、この値を基に図5の含水率を湿度に変換したものを図7に示す。これにより、使用現場での相対湿度に対する座屈の危険性を推測することが可能になると考えられる。

なお、今回、湿度と平衡含水率の関係を実験により求めたが、これには非常に時間を要するので、使用的な段ボールごとに実施するのは現実的ではない。ただ、段ボールは主素材がパルプということで構造に違いはある

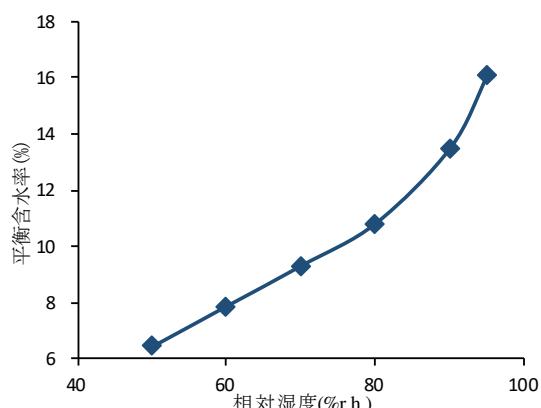


図6 湿度環境と平衡含水率の関係

表3 含水率と湿度の対応

荷重条件		含水率	相対湿度
1/3	①	7.2%	54%r.h.
	②	8.7%	66%r.h.
	③	11.4%	82%r.h.
1/5	①'	8.7%	66%r.h.
	②'	11.4%	82%r.h.
	③'	13.5%	90%r.h.

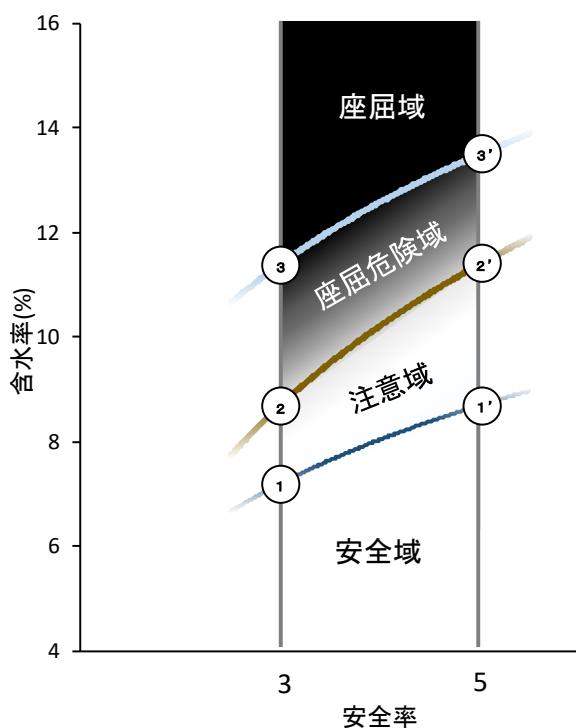


図5 座屈の危険性の予測図（含水率）

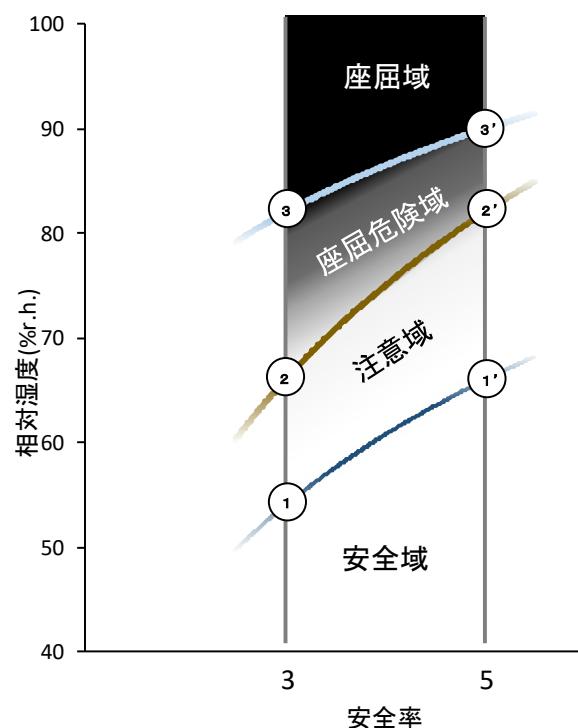


図7 座屈の危険性の予測図（相対湿度）

も素材としては大きな違いはなく、どの段ボールも湿度と平衡含水率の関係はほぼ同じである¹⁻²⁾。よって、湿度と平衡含水率の関係のデータを一度測定しておけば、違う段ボールにおいてもそのデータを利用できると思われる。また、今回は23°Cで試験を実施したが、他の温度で段ボールの使用が予想される場合も同様で、その温度で湿度と平衡含水率の関係を一度測定しておけば、そのデータを利用できると思われる。

以上のことから、今回検討した「湿度上昇環境下における静的圧縮試験」は、段ボールの高湿度環境下での座屈の危険性を簡易に推測する手法として利用できると考えられる。

4. まとめ

段ボールは、安全率を3倍、5倍などとして耐荷重を設定しているが、高湿度環境においては耐荷重であっても座屈することがわかった。このことは段ボールを使用する場所の湿度環境管理が重要であることを示している。今回検討した「湿度上昇環境下における静的圧縮試験」により、段ボールの高湿度環境下での座屈の危険性を推測することが可能になると考えられ、段ボールの品質管理、使用時の湿度管理や積み段数の調整に活用が期待される。

【参考文献】

- 1) 五十嵐清一,段ボール包装技術入門,日報出版,2008
- 2) 大平ら,岐阜県産業技術センター研究報告 No.12,
pp51-52,2018