

室蘭工大 ○小林秀敏, 臺丸谷政志
室蘭工大[院] 田中健一, 櫻田浩司

1. 緒 言

高度の耐水性が求められる生鮮食品分野の包装容器には、現在、発泡スチロール箱、ワックス含浸段ボール、木箱等が使用されているが、いずれも廃棄処理が問題となっており、これらでは容器包装リサイクル法への対応が困難とされている。最近、高い耐水性を有し、使用済み後は、段ボール原紙にリサイクルできる2種類の段ボールが開発され¹⁾、その利用の拡大が期待されている。

本研究では、これら2種類の耐水段ボールと、比較のため一般段ボールの合計3種類の段ボールについて、準静的及び衝撃圧縮試験を行い、それらの圧縮変形挙動を明らかにした。また、水に浸した試料を用いて、同様の圧縮試験を行い、耐水段ボールの耐水性の定量的な評価を試みた。

2. 実 験

2.1 試験材料 本研究に用いた耐水段ボールは、SPC (Super Protect Container) 及びUSPC (Ultra Super Protect Container) と呼ばれる耐水段ボールと、一般段ボール (Kraft liner JIS P3902) である。ここでは、これらの段ボールをそれぞれ、SPC, USPC, Kの記号で表すことにする。試験片の底面は、いずれの段ボールも、図1に示すように、中芯である波板の山が5つ含まれる43 mm×43 mmの正方形で、高さ(厚さ) h は $h = 5.4$ mmである。波板の形状は、3種類の段ボールとも概ね等しく、山部・谷部の半径 R は $R = 1.4 \sim 1.7$ mm, 山・谷間の傾き角 θ は $\theta = 61^\circ \sim 69^\circ$ である。K, SPC, USPCの各段ボールを構成する上板, 波板, 下板の厚さと、段ボール材を1つの材料と見なした場合の見かけの密度 ρ^* をまとめて表1に示す。耐水性は、K, SPC, USPCの順に高く、これに応じて、段ボール原紙の耐水処理量に差が生じるため、波板材の厚さは、概ねこの順に大きくなっている。特にUSPCの密度はKに比べて約2割も大きい。

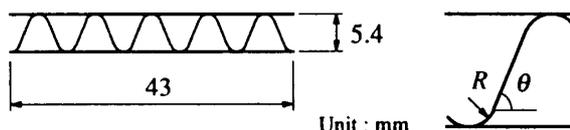


Fig.1 Corrugated cardboard specimen.

Table 1 Thickness of individual parts.

	K	SPC	USPC
Upper liner (mm)	0.34	0.37	0.36
Corrugate (mm)	0.21	0.29	0.30
Lower liner (mm)	0.34	0.34	0.34
App. density (kg/m ³)	149.3	166.7	176.3

2.2 準静的圧縮試験 試験は、Instron 万能試験機に圧縮試験用の治具を取り付け、段ボールの板厚方向に、3 mm/minのクロスヘッド速度で負荷し、室温で行った。実験には、室内の湿度による僅かな水分のみを含む乾燥試験片と、耐水性の比較のために、試験片を一定時間水中に沈めた後、取りだして余分な水分を拭った浸漬試験片を用いた。浸漬時間 t は、Kについては $t = 1, 3$ min, SPCとUSPCについては、 $t = 3, 10, 30$ minとした。試験片の荷重と変位は、試験機のロードセルとクロスヘッド変位の出力からそれぞれ求めた。

2.3 衝撃圧縮試験 実験には、圧縮空気を利用して衝撃棒を打ち出し、図2に示すようなフランジ付きの塩化ビニル管(外径22 mm, 肉厚2 mm, 長さ2.2 m)の端面に置かれた段ボール試験片を衝撃圧縮する試験装置²⁾を用いた。試験速度は、 $V = 4 \sim 5$ m/sである。試験片に負荷された荷重は、端面から220 mmの位置に貼られたひずみゲージの出力から、塩化ビニル管を伝播する応力波の減衰を考慮して算出し、変位は、衝撃棒と出力棒に取り付けたマーカの動きを捕らえる光学式非接触変位計 ZIMMER(X200)を用いて計測した。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重-変位曲線と中芯の変形 図3に、準静的圧縮試験における模式的な荷重-変位曲線と変形途中の中芯の形状を示す。多くの試験片は太い実線の様な荷重-変位曲線を示し、変形初期には荷重が直線的に増加する弾性変形が現れる。さらに圧縮すると、上下の板(ライナー)と中芯である波板との接合部付近(図3(a))の波板が潰れ座

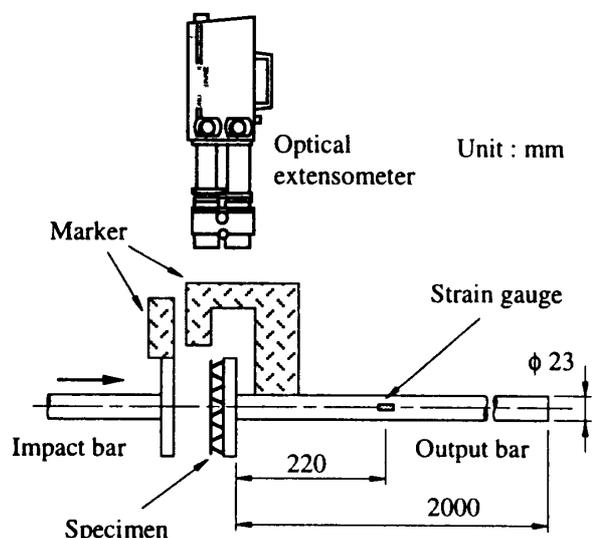


Fig.2 Arrangement for dynamic compression test.

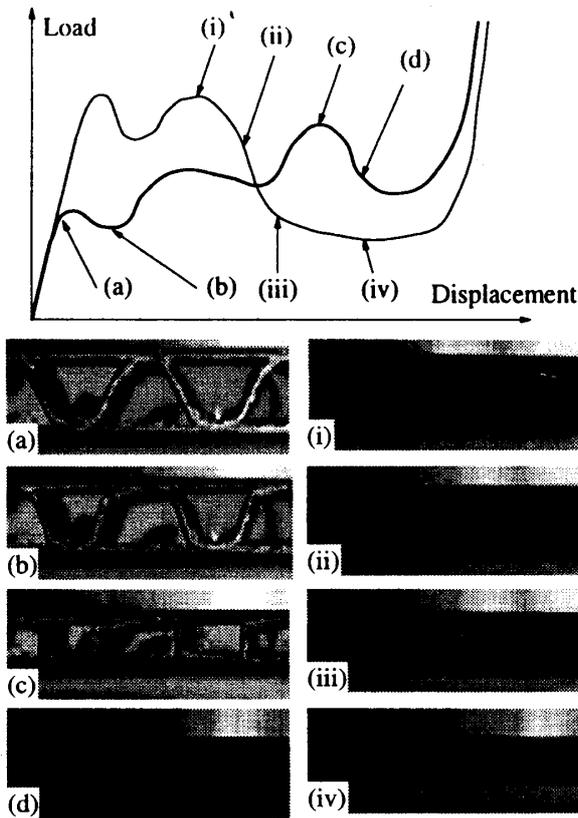


Fig.3 Configuration of corrugated core in compression.

屈するため、荷重は第1ピーク示した後低下し始める。その後、座屈した部分がライナーに接触し平らになる(図3 (b))と荷重は再び上昇に転じる。この上下ライナー近傍に生じる波板の局部座屈の繰り返しのより、山・谷間の波板の傾き角 θ は次第に大きくなり、 $\theta \approx 90^\circ$ になる(図3 (c))と、最後に、この柱状になった波板部分の全体座屈が生じて荷重は低下する(図3 (d))。その後は緻密化段階に入り、荷重は急激に上昇する。

このように、段ボールの圧縮変形では、弾性変形以後、ライナー近傍の波板の局部座屈の繰り返しのより荷重は次第に上昇し、 $\theta \approx 90^\circ$ となり柱状になった波板部の全体座屈を最後に緻密化が始まる。このような変形様式は、荷重が弾性変形直後に最大値を示し、その後、コア材の局部座屈の連続により荷重がほぼ一定となるハニカムの圧縮変形様式と大きく異なっている。

波板の一つの山の形状が、ある限度を超えて非対称となっている場合は、図3の細線のような荷重-変位曲線が得られる。即ち、第1ピーク後の荷重の上昇段階で、ライナー近傍の連続的な座屈の代わりに、図3 (ii), (iii) のような波板部の横倒れが生じ、荷重は大きく低下する。このような荷重-変位曲線は、SPCやUSPCの2~3の試験片で観察され、緻密化前の最高荷重や総吸収エネルギーの低下の要因となっている。

3.2 見かけの応力-ひずみ曲線 荷重を試験片の負荷断面積で除し、変位を負荷前の試験片の高さで除して、段ボール試験片を一つの固体と見なした場合の見かけの圧縮応力 σ^* とひずみ ϵ^* を求めた。図4は、乾燥試験片を用いて行った準静的及び衝撃圧縮試験から得られた、K及びUSPC段ボールの代表的な $\sigma^*-\epsilon^*$ 曲線を示している。変位計の測定レンジの制限のため、衝撃試験では必ずしも緻密化段階まで測定されていないが、USPCはKに比べて2倍以上の強度があること、どちらの段ボールも、速度依存性があり、衝撃負荷の場合は静的負荷の場合より大きな変形抵抗を示すことがわかる。

3.3 吸収エネルギー 得られた $\sigma^*-\epsilon^*$ 曲線を $\epsilon^* = 60\%$ まで積分して求めた各段ボールの単位体積当りの吸収エネルギーの平均値を表2に示す。静的試験結果から、SPC段ボールはK段ボールの約2.6倍、USPC段ボールは約1.9倍の吸収エネルギーがあり、衝撃試験結果もほぼ同様の傾向を示すことから、SPCやUSPCは、Kに比べて2倍以上の大きな衝撃に耐えることができる。

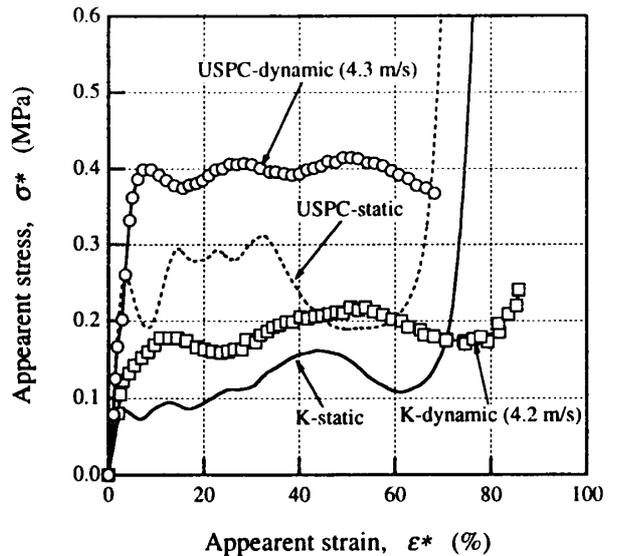


Fig.4 Apparent stress-strain curves of K and USPC cardboards obtained at dynamic and static rates.

Table 2 Mean absorbed energy per unit volume up to $\epsilon^* = 0.6$ in static and dynamic tests.

	K	SPC	USPC
Static (J/cm ³)	0.073	0.191	0.135
Dynamic (J/cm ³)	0.102	0.239	0.207

最後に、本研究において、各種段ボールを快く提供していただいた王子製紙(株)隈部正博氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 王子製紙(株) HP URL(<http://www.ojipaper.co.jp>)
- 2) 小林, 他 2 名, 機論A, 63-616, 2580-2585 (1997)