

段ボール箱の圧縮強度に及ぼす荷重の影響

高田 利夫*、津田 和城*

Influence of Load on Compressive Strength of Corrugated Fiberboard Containers

Toshio TAKADA* and Kazuki TSUDA *

段ボール箱に積載荷重を負荷すると、時間の増加と共にひずみが増大し座屈する。このことから、荷重を負荷すれば強度劣化することが予想されるが、段ボール箱に、圧縮強度と比べて小さい荷重を負荷した場合、圧縮強度は増加する場合がある。

本報告では、段ボール箱に静荷重を負荷した場合と繰返し荷重を負荷した場合に、圧縮強度がどのように変化するかを調べ、以下の結果を得た。

(1)段ボール箱に静荷重を負荷すれば、圧縮強度が増減する。圧縮強度の増減は、荷重率と負荷時間に影響され、荷重率が小さい場合や負荷時間が短時間である場合には、圧縮強度は増加する。(2)圧縮強度未満の繰返し荷重を負荷する場合、荷重が大きくなれば圧縮強度は増加する傾向にある。また、繰返し荷重に関係なく、繰返し回数が増すごとに圧縮量の増加分は減少していく。

In case the compressive load is applied to the corrugated fiberboard box, the box is buckling because the strain increases with time. Therefore, it is expected that the strength of the box decreases, in case the load is applied to the box. However, in case the load below the compressive strength is applied to the box, the compressive strength sometimes increases.

In this report, it has been examined the influence of the static load and the cyclic load applied to the corrugated fiberboard box on the compressive strength. The main results obtained are as follows:

(1) In case the static load is applied to the corrugated fiberboard box, the compressive strength increases or decreases. The increase and decrease of the compressive strength is influenced by the coefficient of load and the duration of load. In case the coefficient of load is small and the duration of load is short, the compressive strength increases. (2) In case the cyclic load below the compressive strength increases, the compressive strength tends to increase. The more the number of cycle increases, the more the increase of compressive displacement decreases, regardless of the cyclic load.

キーワード: 段ボール箱、圧縮強度、クリープ、静荷重、繰返し荷重、荷重率、圧縮強度率、負荷時間

Keywords: Corrugated fiberboard container, Compressive strength, Creep, Static load, Cyclic load, Coefficient of load, Coefficient of compressive strength, Duration of load

*地方独立行政法人 大阪府立産業技術総合研究所, 〒594-1157 大阪府和泉市あゆみ野2-7-1, Technology Research Institute of Osaka Prefecture, 2-7-1 Ayumino, Izumi, Osaka 594-1157, Japan
TEL:0725-51-2710, FAX:0725-51-2639, Email:takada@tri-osaka.jp

1. 緒言

外装用段ボール箱は、積載荷重によりクリープ（時間と共にひずみが増大する現象）を起こし、その後座屈して内容品に損害を与えることがあるので、積載荷重と箱が潰れるまでの時間との関係についての報告は数多く行われている^{1)~7)}。このことから、段ボール箱に荷重を負荷すれば強度劣化することが予想される。ところが、段ボール箱の上に圧縮強度と比べて小さい積載荷重を長期間負荷した場合（振動や衝撃が加わることなく圧縮強度の1/10程度の荷重を1年間負荷した場合）では、圧縮強度は増加する場合がある。

そこで本研究では、荷重により段ボール箱の圧縮強度に増減があるかについて検討する為に、段ボール箱に静荷重を負荷して一定時間放置した場合と繰返し荷重を負荷した場合に、圧縮強度がどのように変化するかについて検討したので報告する。

2. 実験

実験は、以下に示す2通りを行った。

(1)段ボール箱の上に荷重を負荷（錘を積載）して一定時間放置した後に、圧縮試験機で圧縮強度を測定したものと、荷重の負荷をかけずに圧縮強度を測定したものを比較する試験（以後、クリープ強度試験と呼ぶ）。

(2)圧縮試験機で、所定の荷重まで荷重を負荷した後に除荷する。その操作を所定回数まで繰返した試料に対して圧縮強度

を測定したものと、荷重の負荷をかけずに圧縮強度を測定したものを比較する試験（以後、繰返し荷重試験と呼ぶ）。

なお、実験は、23℃50%RHの温湿度の部屋で行った。

2.1 実験試料

供試段ボール箱は、原紙構成がLB170/MC120/LB170^{8),9)}、段の種類がA段¹⁰⁾、外寸法が330×200×330mm、形式がJISのコード番号0201¹¹⁾である。また、今回の供試段ボール箱の輸送し納入された形態は、折り畳まれた10箱を1束として結束紐で結んであった（Fig.1参照）。



Fig.1 Tying bundling example of the corrugated fiberboard box.

2.2 実験方法

2.2.1 クリープ強度試験

負荷した荷重は、0.103kN（10.5kgf）から0.098kN（10kgf）毎に増加して、0.985kN（100.5kgf）までとした。負荷時間は4、8、16、24時間、1測定点の試料数は1束（負荷5箱、無負荷5箱）とした。ただし、1束の段ボール箱に対し、試料採

取および輸送時の損傷の偏りをなくすために、たとえば、外側の段ボール箱から1～10まで番号をつけ、奇数は荷重を負荷したものの試料とし、偶数は無負荷の試料とした (Fig.2参照)。



Fig.2 Load example of the static load.

また、積載荷重が0.201kN (20.5kgf) の場合については、48時間および72時間の負荷時間についても測定すると共に、負荷時間が4時間の場合の試料数は7束 (負荷35箱、無負荷35箱) とした。

2.2.2 繰返し荷重試験

繰返し荷重は、0.6、1.0、1.4、1.8kN で、負荷後直ちに除荷した。繰返し回数は、1、5、10、50回とした。その後、圧縮強度を測定し、無負荷の場合の圧縮強度と比較した。試料は、1束の段ボール箱

の外側の2箱を省き、輸送時の損傷の可能性が低い内側の8箱の内5箱 (0.6、1.0、1.4、1.8kNおよび無負荷) を試料とした。

1測定点の試料数は、5箱であるがその内一番弱い箱の結果を除いた。

3. 結果と考察

3.1 クリープ強度試験

Table 1に、0.201kNの積載荷重を4時間負荷した試料と無負荷の試料に対して測定した圧縮強度を示す。このデータを基にして荷重負荷の有無 (因子A) と段ボール箱を結束した束の違い (因子B) が圧縮強度に影響を及ぼすかについて検討するため、実験計画法の二元配置法¹²⁾により作成した分散分析表をTable 2に示す。表に示す通り、因子Aおよび因子BのP値は、有意水準0.01より小さい。このことより有意水準1%で有意と判断できるので、荷重負荷の有無および段ボール箱の結束試料により圧縮強度に違いがあることがわかる。

ここで、段ボール箱に荷重を負荷した場合にどれだけの強度変化が生じるかを表すものとして以下に示す圧縮強度率を定義すると、圧縮強度率が1未満の場合では強度劣化が起こり、1を超えると強度が増加する。

$$\text{圧縮強度率} = \frac{\text{負荷した場合の圧縮強度}}{\text{無負荷の場合の圧縮強度}}$$

因子Aについては、0.201kNの積載荷重を4時間負荷した場合の7束の平均の圧縮強度は1.97kNで、荷重を負荷しない場合

Table 1 Creep strength test results at 0.201kN and 4hours. (units;kN)

		Factor B (Bundle of sample)						
		Bundle1	Bundle2	Bundle3	Bundle4	Bundle5	Bundle6	Bundle7
Factor A (Existence of weight)	Weight	2.06	1.86	1.98	1.90	2.05	2.02	2.07
		1.94	1.71	2.03	1.96	1.85	1.95	2.10
		1.87	1.74	1.87	2.03	2.04	1.90	2.25
		2.04	1.97	1.84	2.03	2.10	2.03	1.93
		2.04	1.86	1.98	1.87	2.09	1.84	2.07
	No- weight	1.85	1.62	1.94	2.01	1.96	2.06	2.06
		1.93	1.87	1.71	1.99	1.97	2.00	1.89
		1.79	1.77	1.69	1.84	2.00	1.81	1.93
		1.92	1.79	1.88	2.13	1.89	2.02	2.00
		1.89	1.82	1.78	1.93	2.01	2.11	1.75

Table 2 Analysis of variance table at 0.201kN and 4hours.(Two-way layout)

Factors	Sum of squares	Degrees of freedom	Unbiased estimate of variance	Variance ratio	P value
Total variation	0.998	69			
Factor A	0.073	1	0.0730	8.26	0.006
Factor B	0.335	6	0.0558	6.31	0.000
Interaction	0.095	6	0.0159	1.80	0.117
Groups variation	0.495	56	0.0088		

の圧縮強度は1.90kNであるので、圧縮強度率は1.03となり圧縮強度が高くなっている。ただし、束4および束6については、荷重を負荷した場合より無負荷の場合の方が圧縮強度が低くなっている。このことは、錘を負荷してから湿度変化が数%生じた（たとえば、荷重負荷時の湿度が高い）可能性があると考えられるが、今後検討していきたい。

また、因子Bについても圧縮強度の差異が認められた。このことについては、試料のバラツキ以外に輸送や保管における段積みの位置等により何らかの差異が生じた可能性があると考えられる。

Fig.3に0.201kNの積載荷重を載せた場合の圧縮強度率と負荷時間の関係を示す。

ただし、4時間負荷した場合については、最初に実験を行った束1の試料とした。図より、負荷時間にかかわらず0.201kNの積載荷重を負荷した場合は圧縮強度率が1以上なので圧縮強度は同じか増加している。

Fig.4に、負荷した荷重と負荷時間を変更した場合の圧縮強度率と荷重率の関係を示す。ただし、荷重率^{1),5)}は、以下に示すように、無負荷の場合の圧縮強度に対する負荷した荷重の割合である。

$$\text{荷重率} = \frac{\text{負荷した荷重}}{\text{無負荷の場合の圧縮強度}}$$

本報告の場合、荷重率は、0.5以下である。

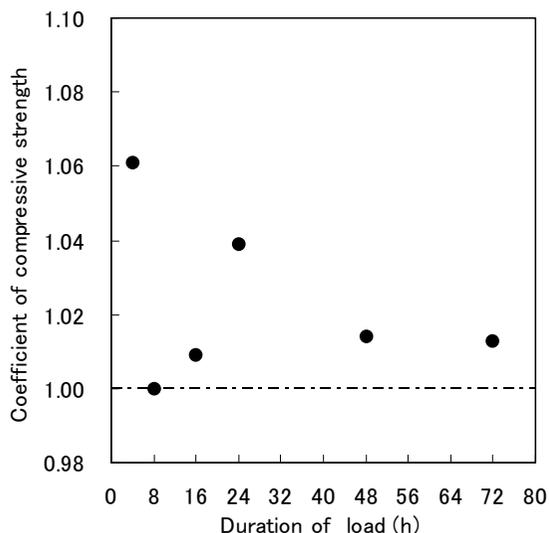


Fig.3 Influence of duration of load on compressive strength at 0.201kN static load.

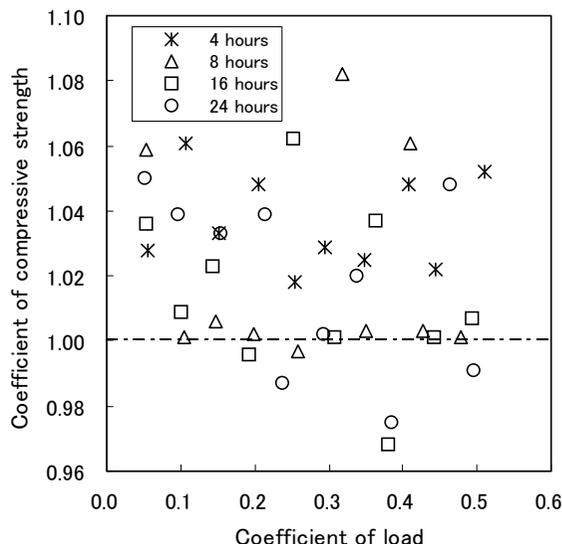


Fig.4 Influence of static load on compressive strength.

図より、負荷時間が4時間でかつ荷重率が0.5以下の場合、圧縮強度率が1より大きくなり圧縮強度が増加している。また、荷重率が0.15程度以下であれば負荷時間にかかわらず圧縮強度率が1より大きくなり圧縮強度が増加している。

荷重率が0.2程度以上になると、負荷時間が8時間以上で圧縮強度率が1未満になる場合がある。すなわち、荷重率が大きい程、また、負荷時間が長時間になる程、強度劣化を起こす傾向にある（荷重率が0.1以下の平均の圧縮強度率が1.04に対し、0.2以下では1.03、0.3以下では1.03、0.4以下では1.02、全体では1.02。また、負荷時間が4時間の平均の圧縮強度率が1.04に対し、8時間以内では1.03、16時間以内では1.02、全体では1.02）。

なお、逆行するデータがところどころあるが、静荷重負荷中に数%湿度変化が生じた可能性や試料のバラツキ等が考えられるが、今後検討していきたい。

以上より、段ボール箱に荷重を負荷すれば、圧縮強度が増加する場合と減少する場合があります、それは荷重率と負荷時間に影響される。本実験の試料の場合、負荷時間が4時間以内または荷重率が0.15程度以下であれば、段ボール箱の強度が増加することがわかった。

3.2 繰返し荷重試験

Table 3に、繰返し荷重試験の測定結果を示す。このデータを基にして、繰返し荷重（因子C）と繰返し回数（因子D）が圧縮強度に影響を及ぼすかについて検討

Table 3 Cyclic load testing results.

		Factor D (Load frequency)							
		1 time		5 times		10 times		50 times	
Factor C (Load)	0.6 kN	2.00	1.97	1.93	1.90	1.98	1.96	2.04	2.12
		1.91	2.15	1.94	2.09	1.95	1.89	2.00	2.01
	1.0 kN	1.98	2.12	2.08	2.03	2.04	1.85	1.97	2.00
		1.97	1.95	2.00	2.09	1.89	2.03	2.05	2.08
	1.4 kN	1.94	2.02	1.96	1.98	2.18	2.01	2.22	2.15
		2.05	1.95	2.05	2.09	2.19	2.07	2.17	2.13
	1.8 kN	2.08	2.06	2.10	2.03	2.11	2.12	2.27	2.26
		2.22	2.12	2.18	2.20	2.16	2.01	2.38	2.09
	No-load	2.02	1.93	1.97	2.01	1.91	2.03	2.10	2.08
		1.88	1.97	1.99	1.93	1.82	2.04	2.13	1.96

Table 4 Analysis of variance table at cyclic load testing.(Two-way layout)

Factors	Sum of squares	Degrees of freedom	Unbiased estimate of variance	Variance ratio	P value
Total variation	0.854	79			
Factor C	0.312	4	0.0779	14.4	0.000
Factor D	0.131	3	0.0437	8.1	0.000
Interaction	0.086	12	0.0072	1.3	0.228
Groups variation	0.325	60	0.0054		

するため、実験計画法の二元配置法により作成した分散分析表をTable4に示す。表に示す通り、因子Cおよび因子DのP値は、有意水準0.01より小さい。このことより有意水準1%で有意と判断できるので、繰返し荷重および繰返し回数が圧縮強度に影響を及ぼすことがわかる。

Fig.5 に、繰返し荷重による圧縮強度への影響を示す。横軸は繰返し荷重、縦軸は圧縮強度率である。図より、無負荷の場合の圧縮強度以下の繰返し荷重については、繰返し荷重の大きいもの程、圧縮強度率が1を超えて大きくなっていることから、圧縮強度が増加する傾向にあることがわかる。

Fig.6に、異なる繰返し荷重を50回負荷した場合の負荷回数と圧縮量¹³⁾（初めて荷重を負荷した時に196Nの荷重を加えた点からの変形量）との関係を示す。図より、負荷荷重に関係なく負荷回数が増すごとに圧縮量の増加分は減少していき、段ボール箱が途中で座屈しない限り負荷回数の増加による圧縮量の増加分は0に収束することが予想できる（図には、1.4kNの増加分のみ表示）。

また、最大荷重時の圧縮量は、無負荷の場合8.4mm、繰返し荷重が0.6kNの場合8.4mm、1.0kNの場合8.3mm、1.4kNの場合8.4mmおよび1.8kNの場合8.9mmである。このように圧縮量は無負荷の場合と比べて

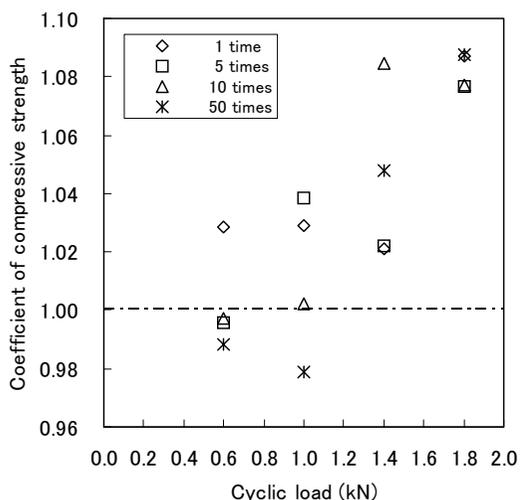


Fig.5 Influence of cyclic load on compressive strength.

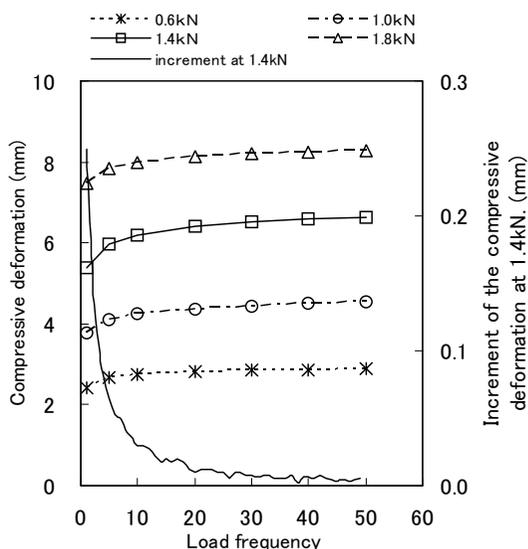


Fig.6 Relationship between compressive deformation and cyclic load.

あまり小さくならないので、無負荷の場合（通常の圧縮試験）の圧縮量程度まで段ボール箱は座屈しないと考えられる。

以上、クリープ強度試験および繰返し荷重試験から、段ボール箱に荷重を負荷した場合、荷重条件を選ぶことによって圧縮強度が向上する。このことは、段ボール箱の圧縮試験を行った場合、圧縮盤に接しているところから圧潰（crush）した後、座屈（buckling）する場合と、座屈のみで最大荷重になる場合があることが影響している可能性があるため、今後の検討課題としたい。

4. 結論

段ボール箱に対して、クリープ強度試験および繰返し荷重試験を行ったところ、下記のことがわかった。

(1) 段ボール箱に静荷重を負荷すれば、圧縮強度が増減する。圧縮強度の増減は、荷重率と負荷時間に影響され、荷重率が小さい場合や負荷時間が短時間である場合には、圧縮強度は増加する。このことより、条件を選ぶことによって段ボール箱の圧縮強度を向上できることを示唆する。

(2) 圧縮強度未満の繰返し荷重を負荷する場合、荷重が大きくなれば圧縮強度は増加する傾向にある。また、繰返し荷重に関係なく繰返し回数が増すごとに圧縮量の増加分は減少していく。

5. 謝辞

本研究にあたりご助言を戴いた神戸大学大学院齋藤勝彦教授に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) Kellicutt KQ, Landt EF., Forest Products Research Society, 1953 Preprint 246.
- 2) Moody RC, Skidmore KE., Package Engineering, **11**(8), 75-81(1966)
- 3) Koning Jr. JW, Stern RK., Tappi Journal, **60**(12), 128-131(1977)
- 4) Rolf T., Tappi Journal, **67**(11), 110-113(1984)
- 5) 松田考司、包装技術、**26**(6)、20-25 (1988)
- 6) Rolf T., Tappi Journal, **69**(1), 77-81(1986)
- 7) Takada T., Nakajima T., Journal of Packaging Research, **5**(1), 19-41 (2011)
- 8) JIS P3902:2011 段ボール用ライナ
- 9) JIS P3904:2011 段ボール用中しん原紙
- 10) JIS Z1516:2003 外装用段ボール
- 11) JIS Z1507-1989 段ボール箱の形式
- 12) 菅民郎、“Excelで学ぶ実験計画法”、オーム社、p. 31-53(2005)
- 13) JIS Z0212:1998 包装貨物及び容器—圧縮試験方法

(原稿受付 2012年6月12日)

(審査受理 2012年8月17日)

