

ノート~~~~~

段ボール箱クリープの簡易推定

大山 絢加*, 斎藤 勝彦**, 山原 栄司***

Simplified Estimation on Corrugated Box Creep

Ayaka OHYAMA*, Katsuhiko SAITO** and Eiji YAMAHARA***

物流中に積み上げ保管されている段ボール箱には静荷重が加わり続けており、段積み保管限界をあらかじめ見積もるためには段ボール箱の耐圧強度を把握しておく必要がある。ここでは、一定荷重試験を行わずに静圧縮試験のみで段ボール箱の座屈変位および座屈時間を推定する方法を提案し、実験によってその有効性を検証する。

Stacking corrugated boxes have received static load in distribution. We have to design compressive strength of corrugated boxes to estimate stacking limitation. The stacking or creep test is often carried out. We will propose the approach to estimate buckling of corrugated box from the only static compression test.

キーワード：包装、段ボール箱、保管、圧縮試験、座屈

Keywords：Packaging, Corrugated Box, Storage, Compression Test, Buckling

1. はじめに

段ボール箱は、製品保護のため物流過程の静荷重に耐えることが求められる。物流中の積み上げ保管の限界（安全性）を評価するためには、段ボール箱の圧縮強度を検討しておく必要がある。

室谷ら¹⁾は、段ボール箱の必要圧縮強度推定法を提案しているが、その方法は、箱の静圧縮試験および一定荷重試験を基にした、いわゆる実験公式であ

る。一般に、一定荷重試験では、空間的に等分布荷重をかけることが困難であり、箱が不均一に変形（Fig. 1 参照）するため、結果のばらつきが大きく、推定精度にも影響する。

そこで本論では、一定荷重試験を行わずに静圧縮試験のみで段ボール箱の一定荷重時の座屈変位および座屈時間を推定する方法を提案し、実験によってその有効性を検証する。

*研究当時、神戸大学大学院海事科学研究科博士前期課程

**連絡者(Corresponding author), 神戸大学輸送包装研究室 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

5-1-1 Fukaeminami, Higashi-nada, Kobe 658-0022, Japan TEL:078-431-6341, Email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp

***レンゴウ (株)

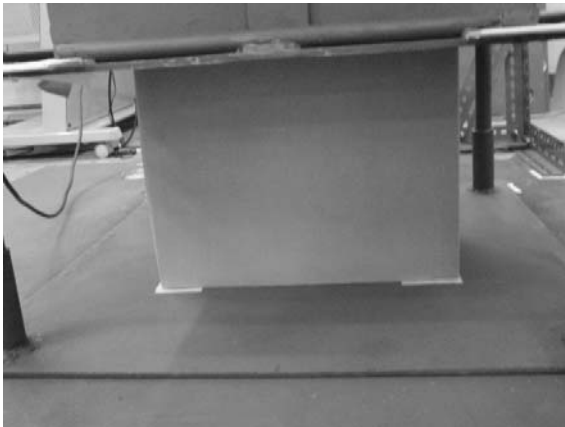


Fig.1 Asymmetrical Compressive Creep on Stacking Test

2. クリープモード試験

一般に、静圧縮試験には二つの方法がある。ひとつは圧縮速度一定で荷重を付加する方法（以下“圧縮モード試験”；Fig.2 参照）で、もうひとつは一定荷重を付加し続ける方法（以下“クリープモード試験”）である。前者は時間の経過とともに負荷荷重が大きくなるが、後者の負荷荷重は一定である。

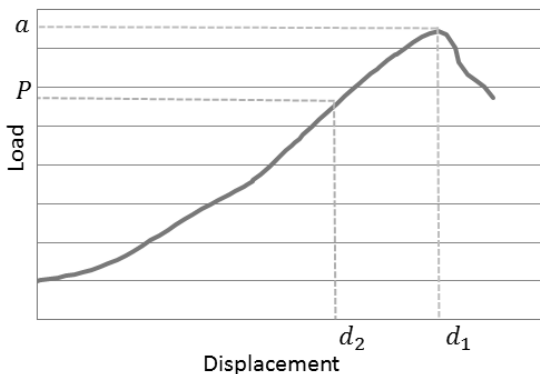


Fig.2 Result of Compressive Mode Test

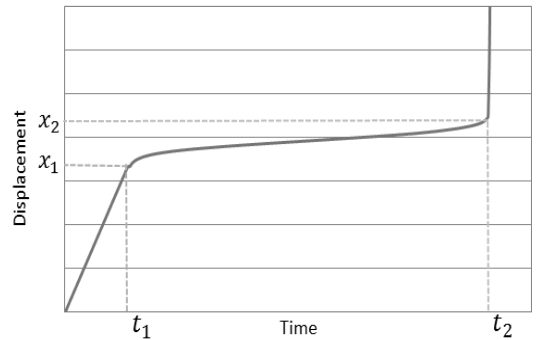


Fig.3 Result of Creep Mode Test

クリープモード試験の結果はFig.3に示すように、圧盤を移動させ荷重をかけ始めると、箱は最初一気に圧縮された後、指定した荷重に達すると荷重が一定になるように圧盤の動きが制御され、箱はほぼ一定の速度で圧縮されていき、座屈に至る。このとき、箱の変形速度が 0.1 (mm/sec) 未満になったときを t_1 、そのときの変位を x_1 、箱がほぼ一定の速度（平均変形速度 s ）で圧縮された後、変形速度が 1 (mm/sec) 以上になったときを座屈時刻 t_2 、そのときの変位を座屈変位 x_2 とする。

ここでは、A フルーツ段ボール箱（内寸法：332×218×250mm、表裏ライナ 160g/m²、中しん 120g/m²）について、100 回の圧縮モード試験（圧縮速度 10mm/min）と 12 回のクリープモード試験を、温湿度：23℃/50%R.H.の条件下で実施している。その結果、圧縮モード試験による座屈強度 a の平均値は 144kgf であり、クリープモード試験では、Fig.4 に示すように箱が不均一に変形することはない。

Table1 は、クリープモード試験の結果を圧縮モード試験の結果と対比させて示しており、クリープモード試験での設定荷重初期変位量 x_1

が、圧縮モード試験における荷重 P での圧縮変位（平均値 d_2 、標準偏差 $SD(d_2)$ ）とほぼ同等であることが分かる。

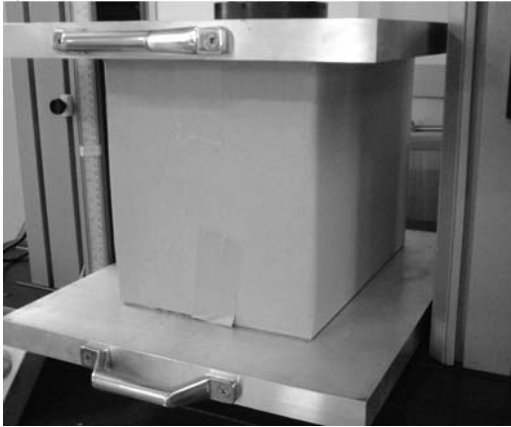


Fig.4 Creep Mode Compression Test

ード試験の推定座屈変位とすると、クリープモード試験における一定荷重座屈変位は、圧縮モード試験による結果によって、次式により推定することが可能である。(Fig.5 参照)

$$x_2' = d_2 + \frac{1}{P} \int_{d_2}^{d_1} F(x) dx \quad (1)$$

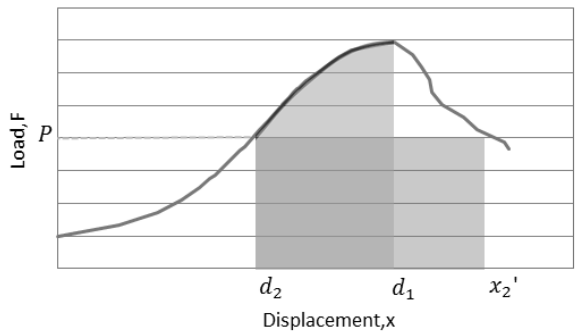


Fig.5 Prediction Concept of Buckling Displacement by Compressive Mode Test

Table1 d_2 at Compressive Mode vs. x_1 at Creep Mode

P(kgf)	x_1 (mm)	d_2 (mm)	$SD(d_2)$ (mm)
136.8	7.4	7.0	0.6
129.6	6.7	6.7	0.6
122.4	6.5	6.4	0.5
115.2	6.2	6.0	0.4
108.0	5.7	5.6	0.3
100.8	5.5	5.2	0.3
93.6	5.4	4.9	0.3
86.4	4.8	4.5	0.3
79.2	4.5	4.2	0.3
72.0	4.1	3.9	0.3
64.8	4.0	3.6	0.3
57.6	3.7	3.3	0.3

3. 一定荷重座屈変位の推定

圧縮モード試験とクリープモード試験で、箱が座屈するまでに加えられるエネルギーが等しいと仮定すれば、2. で確認したように、 $d_2 = x_1$ の関係を用いることにより、 x_2' をクリープモ

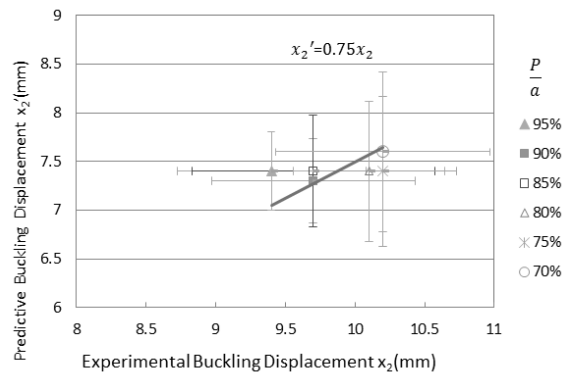


Fig.6 Experimental Buckling Displacement x_2 and Predictive Buckling Displacement x_2'

Fig.6 はクリープモード試験から得た一定荷重座屈変位 x_2 と圧縮モード試験により推定した一定荷重座屈変位 x_2' の平均値と標準偏差（上下左右のエラ

ーパー)、および平均値から得た近似直線を示している。これより推定座屈変位 x_2' は、実験値と比べて25%過小評価(安全側)されている。

4. 座屈時間の推定

2. で確認したように、 $d_2 = x_1$ の関係を用いることにより、段ボール箱の座屈時間 t' は次式により求めることができる。

$$t' = \frac{1}{s}(x_2' - d_2) \quad (2)$$

ここに s は、一定荷重時の平均変形速度である。

Fig.7はクリープモード試験を箱が座屈するまで行うことで得た座屈時間 t と、式(2)から得た箱の推定座屈時間 t' の関係を示している。ただしこのときの s は $(x_2' - d_2)/(t_2 - t_1)$ としている。

これより、推定座屈時間 t' は、実験値と比べて56%過小評価(安全側)されている。

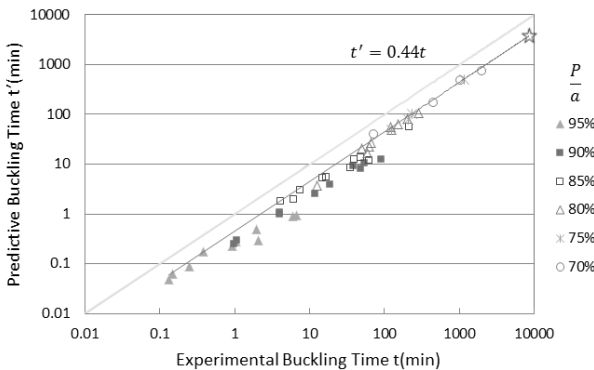


Fig.7 Experimental Buckling Time and Predictive Buckling Time

一方、上載荷重比 P/a が小さい場合は、座屈するまでに長時間かかり、クリープモード試験を箱が座屈するまで実施することが不可能な場合もある。そこで、クリープモード試験を3時間だけ行い(同一条件で2回ずつ実施)、試験終了前30分間の平均変形速度を算出し、その値を用いて座屈推定時間を求めてみる。

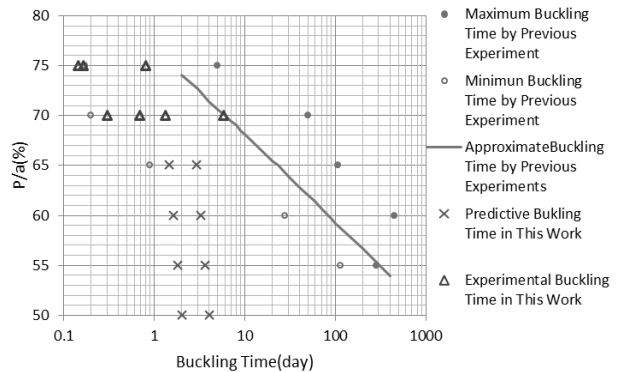


Fig.8 Buckling Time by Static Load Ratio

Fig.8では、過去の研究²⁾(一定荷重試験)により得られている座屈時間、式(2)から得た推定座屈時間、およびクリープモード試験により得た座屈時間を比較している。ただし、図中の直線は、過去の研究(一定荷重試験)による座屈時間、●○がその元となる実験による座屈時間のそれぞれ最大値と最小値、×が式(2)から得た推定座屈時間、△がクリープモード試験(同一条件で4回ずつ実施)により得た座屈時間である。これより、クリープモード試験から得た座屈時間は、過去の研究(一定荷重試験)²⁾で得られている座屈時間のばらつき範囲内であるのに対して、推定座屈時間は、過去の検討(一

定荷重試験)による結果に比べると非常に小さい。

Table 2 は座屈までに 6 日間を要したクリーブモード試験 (Fig.7☆印) 結果における平均変形速度を、変形開始後それぞれの経過時間後 30 分間の平均値として算出し、その値から得られる座屈推定時間を示す。これより、変形速度は一定ではなく、推定座屈時間の予測結果に大きく影響することが分かる。

<引用文献>

- 1) 室谷めぐみ、斎藤勝彦、山原栄司、日本包装学会誌、20(3)、203 - 208(2011)
- 2) 川端洋一、“よくわかる段ボール包装設計講座”、日報、p.127(2000)

(原稿受付 2013 年 1 月 17 日)

(審査受理 2013 年 2 月 22 日)

Table 2 Average Speed s and. The Predictive Buckling Time t'

	Average Speed s(mm/sec)	Predictive Buckling Time t' (day)
3 hours later	1.0×10^{-6}	25.2
1 day later	$(-4.0) \times 10^{-7}$	-63.0
2 days later	1.0×10^{-6}	25.2
3 days later	2.0×10^{-6}	12.6
4 days later	3.0×10^{-6}	8.4

5. おわりに

本論では、一定荷重試験を行わずに静圧縮試験によって段ボール箱の一定荷重座屈変位および座屈時間を推定するための方法を提案し、実験によってその有効性を検証した。その結果、一定荷重座屈変位はある程度予測することができるものの、座屈時間については、予測精度が十分ではなく、予測精度の向上のためには、座屈へ至る変形速度について検討する必要があることが分かった。

段ボール箱クリーブの簡易推定