

パレット付段ボール箱圧縮強度の基礎研究

藤田真由*、金井俊介*

Basic Research on Compressive Strength of Corrugated Box Pallet

Mayu FUJITA* and Shunsuke KANAI*

パレット付段ボール箱は、大型・重量物包装によく採用され、その耐荷重には十分な配慮が必要である。一般的に段ボール箱の圧縮強度を計算する時に使用する kellicutt 式は、箱の周辺長が短いほど圧縮強度は低下するような式となっている。パレット付段ボール箱の圧縮強度も同様に、パレットの桁の外周長さ（パレット桁周辺長）が短いほど段ボール箱の圧縮強度が低下する恐れがあるのではないかと考えた。本研究では、パレット桁周辺長の異なるパレット各々にスリーブ、キャップ・トレイを設置の上、圧縮試験を実施し、パターンごとに圧縮強度の比較をした。結果、本研究の条件範囲内では、パレット桁周辺長が短くなっても、段ボール箱の圧縮強度に変動はないということが示された。このことから、他材質のパレットでも、一定の板厚・周辺長の条件下ならば、圧縮強度の変動がないと推察される。

Corrugated box pallet is often used for packaging large and heavy items, and their load-bearing capacity must be carefully considered. The Kellicutt formula generally used to calculate the compressive strength of corrugated boxes is such that the shorter the box's perimeter length, the lower the compressive strength. We thought that the compressive strength of Corrugated box pallet might similarly decrease as the outer circumference length of the pallet girders (pallet perimeter length) becomes shorter. In this study, compression tests were conducted with sleeves and cap trays installed on each pallet with different perimeter lengths, and compression strength were compared for each pattern. The results showed that the compressive strength of corrugated boxes did not change even if the pallet perimeter length was shortened within the conditions of this study. From this result, it can be inferred that under a certain conditions of board thickness and perimeter length, there is no fluctuation in the compressive strength of pallets made of other materials as well.

キーワード：包装、パレット付段ボール箱、圧縮強度

Keywords：Packaging, Corrugated box pallet, Compressive strength

*ロジスティード株式会社, LOGISTEED, Ltd.

*連絡者(Corresponding author), ロジスティード株式会社(〒104-8350 東京都中央区京橋二丁目9番2号), LOGISTEED, Ltd. 2-9-2, Kyobashi, Cyuo-ku, Tokyo 104-8350, Japan

Email: ma.fujita.yy@logisteed.com, s-kanai@logisteed.com

1. 緒言

パレット付段ボール箱 (Fig.1) のような包装方法は、木材よりも軽く、簡単にリサイクルまたは廃棄処理ができ、材質により耐荷重も数トン級に設定できるという特徴から、輸出時の大型・重量物機材の包装に多く使用されている。ゆえに、包装対象となる製品は高額となることも多く、包装資材の耐荷重、つまり圧縮強度には十分な配慮が必要とされる。

一般的には、JIS Z 1507¹⁾ 規定の 0201 形式の段ボール箱であれば kellicutt 式²⁾ を用いて、強化段ボールであればメーカー作成のノモグラム (又はノモグラフとも呼ばれる) という計算をグラフィカルに行うために設計された図表を用いて、包装の圧縮強度を簡易的に導出できるようになっている。しかし、実際の物流現場ではパレット付で荷役・保管されることが通常であるため、段ボール箱下に敷かれているパレットの影響を考慮せずに、段ボール箱そのものが持つ圧縮強度を採用してもよいものか疑問である。

kellicutt 式から分かる通り、段ボール箱の圧縮荷重は、段ボール箱の周辺長にかかるようになっており、箱の周辺長が短いほど、圧縮強度は低下するようになっている。パレットの長さ・幅と同等サイズの段ボール箱を設置したパレット付き段ボール箱 (Fig.1) の場合、段ボール箱の周辺長にかかった圧縮荷重が、下に設置したパレットの床板外周に伝わると想定した。ゆえに、パレットの床板外周を支持するパレット桁の外周、すなわちパレット桁周辺長 (Fig.2) が段ボールの圧縮強度に影響し、kellicutt 式の傾向と同様にパレット桁周辺長が短くなるほど、段ボール箱

の強度が低下するのではないかという仮説を立てた。パレット上の段ボール箱の圧縮強度について言及した文献から、デッキボードの隙間の幅や位置が段ボール箱の圧縮強度に影響を与えること³⁾ が判明している。しかし、段ボール箱のサイズがパレットサイズと同等な状況を模擬し、床面を支持する桁に着目した文献は少ない。

本研究にて強度傾向を得ることにより、実際の使用環境に合わせて、パレット付段ボール箱の圧縮強度を予測するのに役立ち、パレットまたは包装設計自体の見直しも視野に入れるべきかどうかとも判明するのではないかと考えた。

本研究では、パレット付段ボール箱の圧縮試験を実施し、パレット桁周辺長が段ボール箱の圧縮強度に与える影響を調査した。

本論文の構成は次の通りである。2 章において、本研究の仮説に対する検証のための圧縮試験内容について述べ、3 章において、全 2 回にわたる試験試料と圧縮試験結果を提示する。4 章において試験結果から圧縮荷重の傾向について考察し、5 章にてまとめとする。



Fig.1 Corrugated box pallet

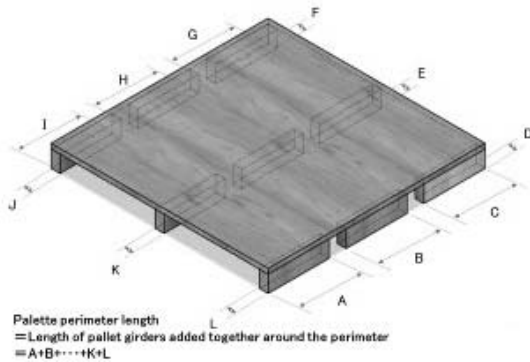


Fig.2 Pallet perimeter length

2. 試験内容

パレット桁周辺長が短くなるほど、段ボール箱の圧縮強度が低下するという仮説を検証するため、倉庫内の段積み状況を想定した圧縮試験を実施した。本研究では段積みした最下段のパレットの桁の形状が、段ボール箱の圧縮強度に影響を与えるかを確認するため、上段に積載するパレットの形状は無視し、平面荷重で試験することとしている。

パレット桁周辺長の異なるパレット3種と段ボール箱（スリーブ、キャップ・トレイ）を用意し、JIS Z 0212⁴⁾ に則り、前処理を23°C/50%RH、24 h（JIS Z 0203⁵⁾）実施した。その後、周辺長の異なるパレットごとにパレット付段ボール箱の包装状態を作成し、**Fig.3** の圧縮試験機を用いて、圧縮速度10mm/分の条件で、段ボール箱が座屈した時点での圧縮荷重の確認を実施した。

なお、本検討のパレットは調達しやすく、桁の位置や長さを調整し易い1100mm×1100mmの木製パレットとし、パレット桁周辺長の影響を確認しやすくするために、天面に関しては簧の子状ではなく1枚ものの合板を使用した。また、パレットの桁

の位置はフォーク荷役できるように、正面から見て両端と中央部に設置することを前提とした。パレットなしの状態の周辺長は、パレット桁周辺長最大の4400mmとしてとらえることとする。段ボール箱についても組立て・設置のしやすいスリーブ、キャップ・トレイを使用するものとした。



Fig.3 Compression tester

3. 一回目試験・二回目試験

3.1 一回目試験

3.1.1 試験試料

パレットは、周辺長が異なる3種の木製パレット(**Fig.4** より①~③)を各1枚ずつ用意した。床面合板の厚みは25mmとする。パレットごとのパレット桁周辺長の値は**Table 1**に示す。スリーブ・キャップ・トレイは、**Fig.4** のパレット3種、パレットを敷かない状態1種の全4種の状態に対し、各5回圧縮試験ができるようスリーブを20枚用意した。材質はABFとし、箱の組立て高さは800mmとした。箱組立て状態は**Fig5**の通り。

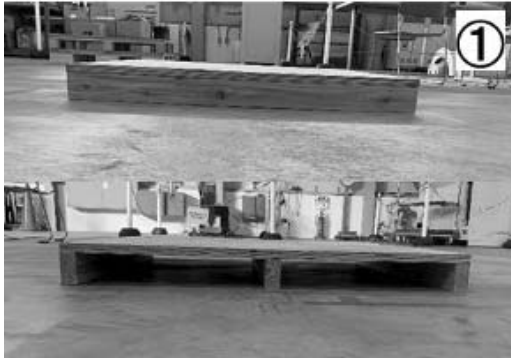


Fig.4 Pallet samples (1st exam)

Table 1 Pallet perimeter length of sample (1st exam)

Pallet No.	without pallet	①	②	③
pallet perimeter length(mm)	4400	2438	1825	1014
Ratio of pallet perimeter length(%)	100.0	55.4	41.5	23.0

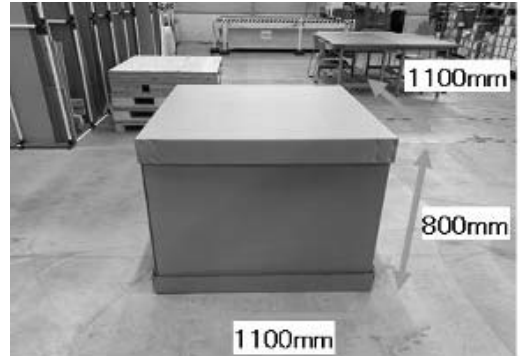


Fig.5 Sleeve and Cap-Tray sample (1st exam)

3.1.2 試験結果

段ボール箱座屈時点の圧縮荷重の結果、パレット種類毎の圧縮荷重の平均値、パレットなしの圧縮強さを5回分平均値を100%とした圧縮強度平均値の変化率をTable 2に示す。圧縮強度平均値の変化率とパレット桁周辺長の関係はFig.6の通りとなった。パレット桁周辺長が短くなっても圧縮強度平均値の変化率は減少する傾向はなく、96.5%~103.5%で推移し、横ばいとなる結果になった。

Table 2 Compression test results (1st)

Pallet No.	without pallet	①	②	③	
Ratio of pallet perimeter length(%)	100.0	55.4	41.5	23.0	
Compression strength (N)	Test 1	6314.9	5369.3	6191.6	5986.3
	Test 2	5799.0	5653.6	6014.5	5923.8
	Test 3	5785.1	5807.7	5816.5	6465.9
	Test 4	5912.4	6012.5	6793.5	6244.4
	Test 5	5924.0	5957.7	5830.5	6219.2
Average	5947.1	5760.2	6129.3	6167.9	
Rate of change in compressive strength(%)	100.0	96.5	102.8	103.5	

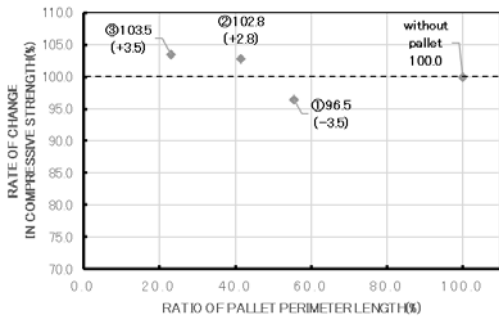


Fig.6 Relationship between rate of change in average compressive strength and perimeter length (1st)

3.1.3 一回目試験のパレット挙動の考察

試験後の試料状態を確認すると、Fig.7の通り、木製パレット自体にたわみの発生はなかった。床板合板の厚みが25mmあり、床板のみで上部からの荷重に十分耐えることができ、木製パレットの桁の影響が出る前に段ボール箱が座屈破壊されてしまったと推察した。それゆえ、パレット桁周辺長の影響を十分に確認できなかった可能性が高い。これを反省とし、二回目試験では、より薄い床板に変更することを含め、パレット構造の見直しが必要と考えた。



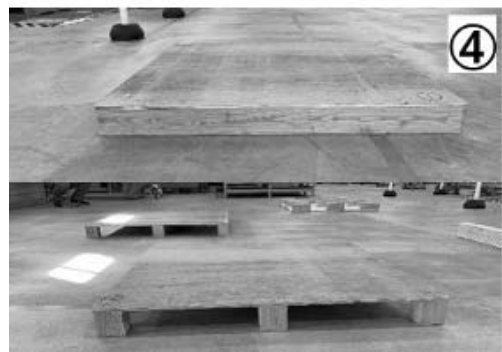
Fig.7 Condition of floorboard after test (1st exam)

3.2 二回目試験

二回目試験について示す。一回目試験で確認できなかったパレット桁周辺長の影響を確認するため、パレットとスリーブの設計見直しを実施した。

3.2.1 試験試料

二回目試験は3.1.3で述べた通り、パレット桁周辺長の影響に着目するため、床板を12mmとした木製パレットに変更した(Fig.8④~⑥)。パレット桁周辺長はTable 3の通りとする。スリーブは、よりパレットに荷重がかかりやすくなるように、素材をAAFとする強化段ボールへ、組立てした箱の高さを400mmに変更して試験を実施することとした(Fig.9)。一回目試験同様、全4種の状態に対し5回圧縮試験ができるように20枚用意した。



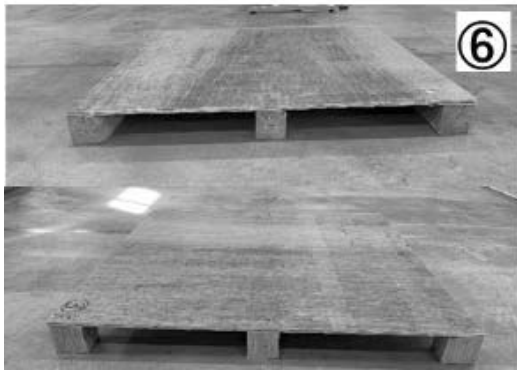


Fig.8 Pallet samples (2nd exam)

Table 3 Pallet perimeter length of sample (2nd exam)

Pallet No.	without pallet	④	⑤	
pallet perimeter length(mm)	4400	2701	2075	1006
Ratio of pallet perimeter length(%)	100.0	61.4	47.2	22.9

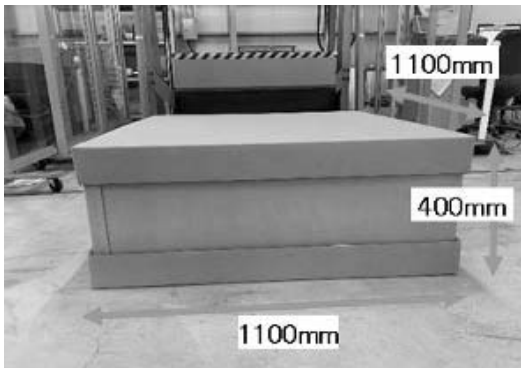


Fig.9 Sleeve and Cap Tray sample (2nd exam)

3.2.2 試験結果

段ボール箱座屈時点の圧縮荷重の結果、パレット種類毎の圧縮荷重の平均値、パレットなしの圧縮強さ 5 回分平均値を 100%とした圧縮強度平均値の変化率を Table 4 に示す。圧縮強度平均値の変化率とパレット桁周辺長の関係は Fig.10 の通りである。二回目試験についても、パレット桁周辺長が短くなって

も、圧縮強度平均値の変化率は減少する傾向はなく 96.1%~103.1%というように横ばいに推移する結果になった。

Table 4 Compression test results (2nd)

Pallet No.	without pallet	④	⑤		
Ratio of pallet perimeter length(%)	100.0	61.4	47.2	22.9	
Compression strength (N)	Test 1	6314.9	5369.3	6191.6	5986.3
	Test 2	5799.0	5653.6	6014.5	5923.8
	Test 3	5785.1	5807.7	5816.5	6465.9
	Test 4	5912.4	6012.5	6793.5	6244.4
	Test 5	5924.0	5957.7	5830.5	6219.2
Average	5947.1	5760.2	6129.3	6167.9	
Rate of change in compressive strength(%)	100.0	96.9	103.1	103.7	

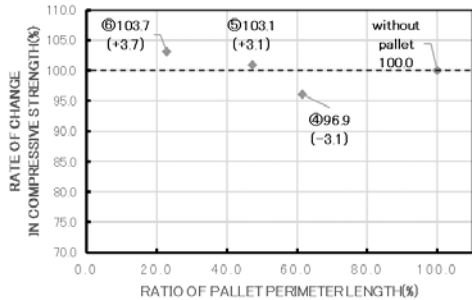


Fig.10 Relationship between rate of change in average compressive strength and perimeter length (2nd)

3.2.3 二回目試験パレット挙動の考察

試験後の試料状態は、Fig.11 の通り床板にたわみの発生が確認されたため、桁の周辺長の影響を含めた結果を確認できたと考える。



Fig.11 Condition of floorboard after test (2nd exam)

4. 全体考察

一回目試験に関しては、3.1.3 の通りパレット桁周辺長の影響を見ることができない結果となった。圧縮強度平均値の変化率が横ばいであったことから、床板が厚く、床板の歪みに繋がるような荷重が上部からかからない場合は、パレット桁周辺長に影響を与えないため、上部の段ボール箱の圧縮強度に影響がないともいえる。

二回目試験に関しては、3.2.3 の通り、パレット桁周辺長の影響があると確認された結果だが、パレット桁周辺長の影響を含めても、圧縮強度平均値の変化率は大きく変化がなく横ばいの結果となった。このことから、木製パレットの床板 12mm で、周辺長が 22.9% 以上の条件であれば、上部の段ボール箱の圧縮強度に影響がないということが分かった。

全二回の試験結果の考察より、木製パレットにおいて、合板板厚 12mm 以上かつ、周辺長割合が 22.9% 以上の条件下では、床板にたわみが発生する、しないに関わらず、上部に設置している段ボール箱の圧縮強度に影響がないということがいえる。

5. まとめ

4 章にて、木製パレットに限る話では、合板板厚 12mm 以上かつ、周辺長割合が 22.9% 以上の条件下では、床板にたわみがあれば、上部に設置している段ボール箱の圧縮強度に影響がない、と考察した。つまり、1 章で提示した、パレット付段ボール箱では、パレット桁周辺長、いわゆるパレット桁の外周が短くなるほど、段ボール箱の強度が低下するという仮説は、本研究のパレット桁周辺長

の違いの範囲では、そうとは言えないということが示された。

そして、本考察から、他材質のパレットでも、ある一定の板厚・周辺長の条件下であれば、同様に圧縮強度の変化はほぼないのではいかという推察もできる。ある一定の条件下であれば、圧縮強度の低下を考慮せずに済み、段ボール箱の強度低下に配慮してパレットの強度を上げ過ぎる必要性はなく、パレット上部に積載する重量に耐えうる設計をすればよいと想定できる。すなわち、過剰設計を防ぎ、コストの削減に繋げることができる可能性がある。

但し、本研究の範囲外となるパレット桁周辺長についての圧縮強度のデータ取得、圧縮強度に寄与すると考えられるパレットの床板形状の違いや木材以外の材質の影響に関しては別途検証の余地がある。

<参考文献>

- 1) JIS Z 1507(2013),段ボール箱の形式
- 2) K.Q. Kellicutt, E. F. Landt, “Basic design data for the use of fiberboard in shipping containers”, Fiber Containers, vol.36,no.12, p. 62,1951.
- 3) M.Baker, L.Horvath, and M.S.White, “Predicting the Effect of Gaps Between Pallet Deckboards on the Compression Strength of Corrugated Boxes”, Journal of Applied Packaging Research, vol.8, no.2,Article 3,2016.
- 4) JIS Z 0212(1998),包装貨物及び容器—圧縮試験方法
- 5) JIS Z 0203(2000), 包装貨物—試験の前処置

(原稿受付 2022 年 12 月 27 日)

(採録受理 2023 年 2 月 10 日)