

段ボール箱の圧縮強さに及ぼす 圧縮速度の影響

高田利夫* 寺岸義春* 野上良亮*
中嶋隆勝* 村上義夫*

Influence of Compressive Speed on Compressive Strength of Corrugated Fiberboard Containers

Toshio TAKADA, Yoshiharu TERAGISHI, Ryousuke NOGAMI,
Takamasa NAKAJIMA, Yoshio MURAKAMI

The main purpose of the present paper is to make clear the effect of various conditions on the creep-related strength of the corrugated fiberboard containers. The experimental study was carried out in various conditions; compressive test speeds (0.1, 1, 10, 100 mm/min), component materials, dimensions and moisture contents of corrugated fiberboard containers.

The main results obtained are as follows:

- (1) Compressive strength P is related with compressive speed V , such that

$$P = \alpha + \beta \cdot \log_{10} (V/10)$$

where α is the standard compressive strength with compressive speed 10mm/min, and β is the speed corrected strength.

- (2) The rate of decrease of compressive strength increases with the decrease of compressive speed for the corrugated fiberboard containers whose standard compressive strength is small.

- (3) The speed corrected strength β is proportional linearly to standard compressive strength α ;

$$\beta = 47.2 + 0.0754 \alpha$$

Thus, we can finally estimate the compressive strength P for the given compressive speed V and the standard compressive strength α . Especially, this equation is independent of component, dimensions, and the moisture content of corrugated fiberboard containers.

Keywords: Corrugated fiberboard container, Speed corrected strength, Compressive speed, Compressive strength, Standard compressive strength, Degradation coefficient

* 大阪府立産業技術総合研究所 (〒550 大阪市西区江之子島2-1-53)

要 旨

段ボール箱の圧縮強さに及ぼすクリープの影響は、圧縮強さと圧縮速度との関係から推定できる。本報では、この関係を詳細に知ることを目的として、圧縮速度を0.1, 1, 10, 100mm/minの4条件とし、この関係に及ぼす諸因子として段ボールの材質、水分および段ボール箱の寸法を変えた実験を行ったところ、これらの因子に関係なく以下の結果を得た。

- (1) 圧縮強さ P と圧縮速度 V との関係は、圧縮速度10mm/minのときの圧縮強さ α を標準圧縮強さ、 β を速度補正強さと定義すると、対数関数を用いて次式で表せる。

$$P = \alpha + \beta \cdot \log_{10} (V/10)$$

- (2) 標準圧縮強さの弱い段ボール箱ほど圧縮速度が減少すれば圧縮強さの低下する割合が大きい。
- (3) 速度補正強さ β と標準圧縮強さ α との関係は、次式のように一次関数で表せる。

$$\beta = 47.2 + 0.0754 \alpha$$

上式より、標準圧縮強さがわかれば任意の圧縮速度における圧縮強さが推定できる。

1. 緒 言

段ボール箱は、物流活動を円滑にするためになくてはならない包装容器で、工業製品や農林水産物の輸送に幅広く使用されている。ところが、段ボール箱は、倉庫等に長期間保管されると積み上げ荷重により胴ぶくれといわれるクリープ座屈を起こし、保護している

内容品に損傷を与えることがある。そのためクリープの影響を知ることは包装設計においては重要なことであり、数多くの試料と時間を費やしてケリカット¹⁾を始めとして多くの研究^{2) 3) 4)}が行われているが、段ボールの材質等により得られる結果が異なる⁵⁾のが現状である。このような状況のもとで、著者らは圧縮試験による圧縮速度と圧縮強さとの関係からクリープの影響を推定する方法⁶⁾を提案した。

そこで本報では、圧縮速度と圧縮強さとの関係を詳細に知ることを目的として、この関係に及ぼす諸因子として段ボール箱の寸法や段ボールの材質および水分の影響について実験から検討を加えた。

2. 実 験

2.1 試 料

本研究に用いた段ボール箱は、形式がJISのコード番号0201(旧形式A-1形)で、以下に示す2グループのものを製作した。

- (1) 試料A~Gは、箱の内寸法が363×302×258mmで、Table 1に示す段ボールの原紙構成および段の種類とした。

Table 1 Board composition and flute size of sample A~G

Sample	Board composition	Flute size
A	K280/GS125/K280	A
B	B220/GS125/B220	A
C	C170/GS125/C170	A
D	B220/GS125/B220	B
E	B220/(GS125) ³ /B220	AB
F	B220/DK200/B220	A
G	B220/FKM115/B220	A

(2) 試料H~Oは、段ボールの原紙構成がB220/GS125/B220、段の種類がA段の両面段ボール箱で、Table 2に示す内寸法とした。

Table 2 Internal dimension of sample H~O

Sample	Internal dimension mm
H	363 × 302 × 258
I	363 × 302 × 792
J	363 × 302 × 525
K	363 × 302 × 180
L	732 × 302 × 258
M	300 × 302 × 258
N	250 × 302 × 258
O	610 × 363 × 258

すべての試料は、無印刷で、紙粘着テープをI字貼にした封緘を行い、箱壁面が内側に座屈するとき内フラップが支えになるのを防止するために内フラップと外フラップを封緘前にはさみ治具で固定した。

Table 3, 4 に段ボールの原紙特性を示す。但し、試料BとHとは、仕様が同じであるが製造季節の違うものである。

2. 2 前処置条件および水分測定

試料A~Gについては、恒温恒湿に保ち湿度条件を20℃65%RH、20℃90%RHおよび40℃95%RHの3条件で24時間以上放置した。試料H~Oについては、恒温恒湿に保ち湿度条件を20℃65%RHの1条件で24時間以上放置した。また、試料B、Dについては10℃の水に1分間の浸せきを、試料Eについては10℃の水に3分間の浸せきを行った。

水分は、試験終了後面2の中央部を150×40mm程度切断し、JIS P8127によって求めた。

2. 3 実験方法

実験に用いた試験機は、島津製作所製のオートグラフAG-50kNB特型で、圧縮速度は

Table 3 Performance of liner and corrugating medium of sample A~G

		Ring-crush strength		Basis weight g/m ²
		Machine direction N	Cross direction N	
Liner	K280	775	531	281
	B220	610	412	224
	C170	357	245	172
Corrugated medium	DK200	531	403	208
	GS125	202	145	127
	FKM115	178	125	119

Table 4 Performance of liner and corrugating medium of sample H~O

		Ring-crush strength		Basis weight g/m ²
		Machine direction N	Cross direction N	
Liner	B220	636	428	208
Corrugated medium	GS125	188	136	123

0.1, 1, 10, 100mm/minの4条件で圧縮荷重と変位量を測定した。試料数は、一測定条件(材質、前処置条件、圧縮速度)につき各5個ずつ使用し、測定値は5個の平均とした。

また、実験時の温湿度条件は全実験を通じて20℃65%RHとしたが、これと異なる前処置条件の試料については、試料を900×800×0.04mmのポリエチレン袋に入れた状態で実験を行った。

3. 結果および考察

3.1 圧縮強さ、水分および圧縮量

荷重変形曲線において、圧縮荷重の最初のピークを圧縮強さとし、その時の変形量を圧

縮量(初期荷重は通常196Nであるが本研究では0N)とした。最初のピークを圧縮強さとしたのは、試料A~Gについて比較すると20℃65%RHの温湿度条件では荷重ピークが数次あった試料は140(=7×4×5)個中65個であったが、20℃90%RHでは25個で、40℃95%RHでは9個というように、高温多湿状態になるほど荷重ピークが1つしかない試料の比率が増加し、最初のピーク時の圧縮量もほぼ同程度であるためである。各試料および各前処置条件における圧縮速度0.1,1,10,100mm/minの時の圧縮強さ(N)および水分(%)および圧縮量(mm)の測定結果をTable 5~9に示す。

Table 5~9より、各試料および各前処置

Table 5 Compressive strength, moisture content and compressive displacement of sample A~G at 20℃ 65%RH

Sample	Compressive strength (at 0.1, 1, 10, 100 mm/min)				Moisture content %	Compressive displacement mm
	N					
A	2450	2552	3010	3181	8.7	18.7
B	2059	2257	2339	2755	9.1	17.5
C	1658	1875	1905	2062	9.1	16.5
D	2130	2285	2446	2818	9.1	10.4
E	3794	4120	4718	4942	9.1	20.5
F	3340	3768	4109	4281	9.0	18.7
G	1769	1975	2154	2450	8.5	17.1

Table 6 Compressive strength, moisture content and compressive displacement of sample A~G at 20℃ 90%RH

Sample	Compressive strength (at 0.1, 1, 10, 100 mm/min)				Moisture content %	Compressive displacement mm
	N					
A	1415	1563	1821	2205	14.2	20.7
B	1047	1189	1384	1675	14.8	18.9
C	774	866	995	1154	15.3	16.7
D	1112	1218	1387	1601	14.5	13.8
E	2014	2134	2534	2933	14.6	22.1
F	1784	1929	2166	2548	14.0	18.1
G	924	1047	1226	1436	14.8	18.3

Table 7 Compressive strength, moisture content and compressive displacement of sample A~G at 40°C 95% RH

Sample	Compressive strength (at 0.1, 1, 10, 100 mm/min)				Moisture content %	Compressive displacement mm
	N					
A	727,	868,	998,	1195	19.6	19.3
B	557,	669,	773,	978	20.2	18.4
C	457,	545,	561,	697	20.0	15.7
D	537,	622,	709,	809	20.0	12.4
E	1206,	1411,	1606,	1840	18.6	21.6
F	840,	919,	1088,	1250	20.0	17.2
G	515,	604,	696,	799	20.2	16.7

Table 8 Compressive strength, moisture content and compressive displacement of sample B, D, E at soak

Sample	Compressive strength (at 0.1, 1, 10, 100 mm/min)				Moisture content %	Compressive displacement mm
	N					
B	115,	126,	171,	200	38.0	13.3
D	82,	102,	134,	173	40.0	8.2
E	181,	196,	246,	304	48.6	17.3

Table 9 Compressive strength, moisture content and compressive displacement of sample H~O at 20°C 65% RH

Sample	Compressive strength (at 0.1, 1, 10, 100 mm/min)				Moisture content %	Compressive displacement mm
	N					
H	1761,	1766,	2002,	2234	8.7	17.9
I	1609,	1709,	1854,	2158	8.8	17.1
J	1656,	1761,	1942,	2178	8.9	17.3
K	1714,	1882,	2013,	2277	9.1	18.2
L	2386,	2577,	2744,	3191	9.0	17.3
M	1451,	1654,	1755,	1991	9.0	16.8
N	1586,	1636,	1845,	2033	9.3	17.0
O	2853,	3012,	3285,	3677	8.8	17.7

条件において、圧縮速度が増加すれば圧縮強さも上昇するが、圧縮量はほぼ一定である。また、前処置条件が多湿状態になれば、段ボールの水分が増加し圧縮強さは低下する。

3. 2 段ボールの材質の影響

Fig. 1 に、20°C 65% RH で前処置を施した試料 A~G の圧縮強さ P (N) と圧縮速度 V (mm/min) との関係を示す。Fig. 1 より、

段ボールの材質に関係なく圧縮速度が減少すれば圧縮強さも低下し、圧縮強さと圧縮速度との関係は、 α と β を各試料により異なる定数とすると、以下に示す対数関数で表すことができる。

$$P = \alpha + \beta \cdot \log_{10} (V/10) \dots\dots\dots (1)$$

上式では、圧縮速度 V が10mm/minのときに第2項が0となるように設定したので、本報告では α を標準圧縮強さ(N)と呼ぶ。

また、 $\beta \cdot \log_{10} (V/10)$ の項は、圧縮速度

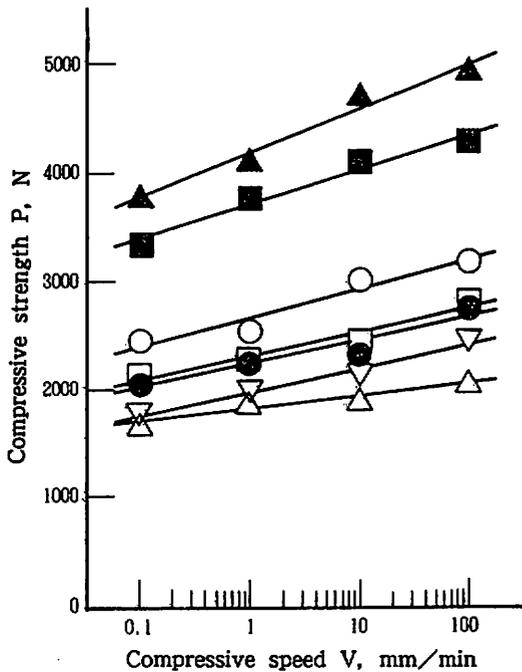


Fig. 1 Relationship between compressive strength and compressive speed of sample A~G at 20°C 65% RH

に依存する強さであり、 $\log_{10} (V/10)$ が無次元量となるため、本報告では β を速度補正強さ(N)と呼ぶ。

標準圧縮強さの高い順に試料を並べ()内にその試料の速度補正強さを併記すれば、試料E(404N), F(316N), A(265N), D(223N), B(217N), G(222N), C(124N)となる。標準圧縮強さが低下すれば、試料Gのように試料Bより増加する場合もあるが、全体として速度補正強さは低下する傾向にある。

Fig. 2に、20°C 90% RHで前処置を施した試料A~Gの圧縮強さと圧縮速度との関係を示す。この場合も前処置条件が20°C 65% RHの場合と同様に圧縮強さと圧縮速度との関係は(1)式で表せ、標準圧縮強さが低下すれば速度補正強さも低下する傾向にある。

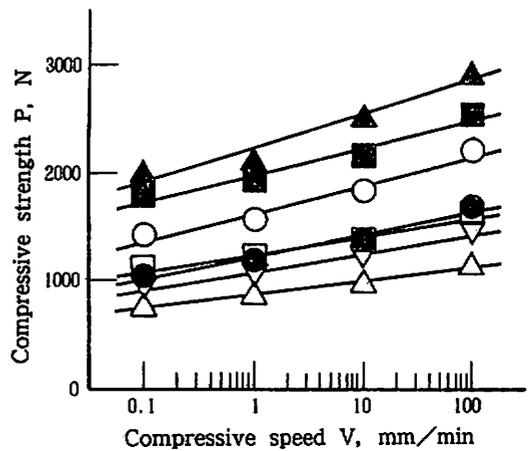


Fig. 2 Relationship between compressive strength and compressive speed of sample A~G at 20°C 90% RH

Sample	Symbol	Regression function	Correlation coefficient	β/α
A	○	$P=2930+265 \cdot \log(V/10)$	0.970	0.0904
B	●	$P=2460+217 \cdot \log(V/10)$	0.956	0.0882
C	△	$P=1940+124 \cdot \log(V/10)$	0.964	0.0639
D	□	$P=2530+223 \cdot \log(V/10)$	0.973	0.0881
E	▲	$P=4600+404 \cdot \log(V/10)$	0.986	0.0878
F	■	$P=4030+316 \cdot \log(V/10)$	0.984	0.0784
G	▽	$P=2200+222 \cdot \log(V/10)$	0.994	0.101

Sample	Symbol	Regression function	Correlation coefficient	β/α
A	○	$P=1880+263 \cdot \log(V/10)$	0.980	0.140
B	●	$P=1430+208 \cdot \log(V/10)$	0.987	0.145
C	△	$P=1010+127 \cdot \log(V/10)$	0.993	0.126
D	□	$P=1410+164 \cdot \log(V/10)$	0.989	0.116
E	▲	$P=2560+316 \cdot \log(V/10)$	0.989	0.123
F	■	$P=2230+253 \cdot \log(V/10)$	0.979	0.113
G	▽	$P=1240+172 \cdot \log(V/10)$	0.994	0.139

Fig. 3に、40℃95%RHで前処置を施した試料A～Gの圧縮強さと圧縮速度との関係を示す。この場合も前処置条件が20℃65%RHの場合と同様に圧縮強さと圧縮速度との関係は、(1)式で表せ、標準圧縮強さが低下すれば、速度補正強さも低下する傾向にある。

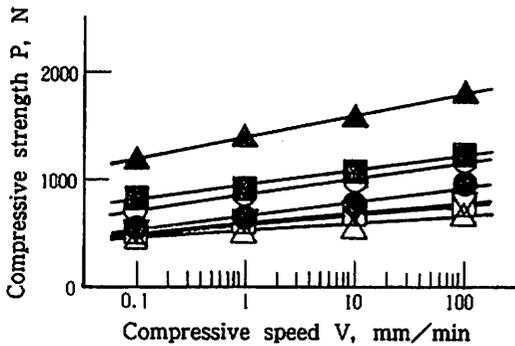


Fig. 3 Relationship between compressive strength and compressive speed of sample A～G at 40℃ 95% RH

Sample	Symbol	Regression function	Correlation coefficient	β/α
A	○	$P=1020+153 \cdot \log(V/10)$	0.995	0.150
B	●	$P=813+137 \cdot \log(V/10)$	0.986	0.169
C	△	$P=602+73.6 \cdot \log(V/10)$	0.958	0.122
D	□	$P=714+90.3 \cdot \log(V/10)$	0.999	0.126
E	▲	$P=1620+210 \cdot \log(V/10)$	0.999	0.130
F	■	$P=1090+140 \cdot \log(V/10)$	0.989	0.128
G	▽	$P=701+94.4 \cdot \log(V/10)$	0.999	0.135

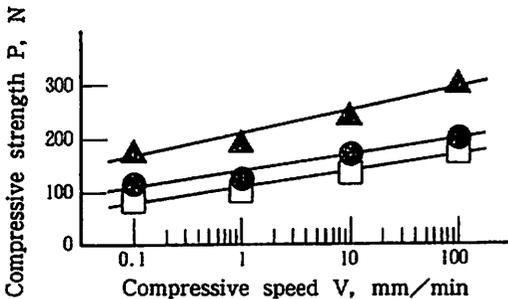


Fig. 4 Relationship between compressive strength and compressive speed of sample A～G at soak

Sample	Symbol	Regression function	Correlation coefficient	β/α
B	●	$P=168+30.0 \cdot \log(V/10)$	0.978	0.179
D	□	$P=138+30.5 \cdot \log(V/10)$	0.990	0.221
E	▲	$P=253+41.9 \cdot \log(V/10)$	0.973	0.166

Fig. 4に、浸せきによる前処置を施した試料B, DおよびEの圧縮強さと圧縮速度との関係を示す。この場合も前処置条件が20℃65%RHの場合と同様に圧縮強さと圧縮速度との関係は、(1)式で表せ、標準圧縮強さが低下すれば、速度補正強さも低下する傾向にある。

3. 3 段ボールの水分の影響

Fig. 1～3より、試料Aの段ボールの水分が増加すれば(多湿状態になれば)、標準圧縮強さ α が2930, 1880, 1020Nと低下し、速度補正強さ β も265, 263, 153Nと低下するように、標準圧縮強さが低下すれば速度補正強さも低下することがわかる。

Fig.1～4より、試料Bの段ボールの水分が増加すれば(多湿状態あるいは浸せき状態になれば)、標準圧縮強さ α が2460, 1430, 813, 168Nと低下し、速度補正強さ β も217, 208, 137, 30.0Nと低下するように、標準圧縮強さが低下すれば速度補正強さも低下することがわかる。

同様に、Fig.1～4より、試料C, D, E, F, Gについても段ボールの水分が増加すれば、試料Cの20℃90%RHで速度補正強さが増加する場合を除いて、標準圧縮強さが低下すれば速度補正強さも低下することがわかる。

3. 4 段ボール箱の寸法の影響

Fig. 5に、20℃65%RHで前処置を施した試料H～Oの圧縮強さと圧縮速度との関係を示す。Fig. 5より、段ボール箱の寸法に関係なく、圧縮速度が減少すれば圧縮強さも低下し、圧縮強さと圧縮速度との関係は、試料A～Gの場合と同様に(1)式で表せる。

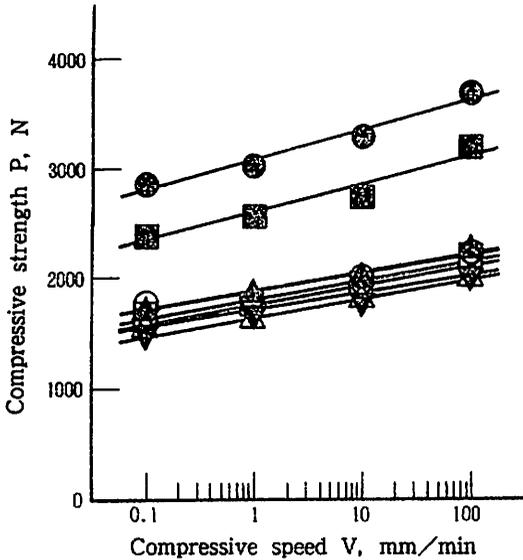


Fig. 5 Relationship between compressive strength and compressive speed of sample H~O at 20°C 65% RH

Sample	Symbol	Regression function	Correlation coefficient	β/α
H	○	$P=2020+166 \cdot \log(V/10)$	0.947	0.0816
I	▽	$P=1920+179 \cdot \log(V/10)$	0.967	0.0932
J	□	$P=1970+175 \cdot \log(V/10)$	0.986	0.0888
K	▲	$P=2060+182 \cdot \log(V/10)$	0.989	0.0883
L	■	$P=2850+258 \cdot \log(V/10)$	0.970	0.0905
M	▼	$P=1800+172 \cdot \log(V/10)$	0.930	0.0956
N	△	$P=1850+155 \cdot \log(V/10)$	0.974	0.0837
O	●	$P=3340+275 \cdot \log(V/10)$	0.982	0.0820

標準圧縮強さの高い順に試料を並べ()内にその試料の標準圧縮強さと速度補正強さを併記すれば、試料O ($\alpha = 3340\text{N}$, $\beta = 275\text{N}$), L(2850N, 258N), K(2060N, 182N), H(2020N, 166N), J(1970N, 175N), I(1920N, 179N), N(1850N, 155N), M(1800N, 172N)となり、標準圧縮強さが低下すれば、速度補正強さも低下する傾向にある。

3.5 劣化係数と標準圧縮強さとの関係

劣化係数Dを次式のように速度補正強さ β (N)と標準圧縮強さ α (N)との比と定義する。

$$D = \beta / \alpha \dots\dots\dots (2)$$

次に、(1)式に $\beta = D \alpha$ を代入すると、

$$P = \alpha \{1 + D \cdot \log(V/10)\} \dots\dots (3)$$

となり、劣化係数が増加する程、圧縮強さは圧縮速度の影響を受け易くなり圧縮速度が減少すれば圧縮強さの低下の割合が大きくなる。

Fig. 6に、各試料の劣化係数と標準圧縮強さとの関係を示す。Fig. 6より、段ボールの材質や水分および段ボール箱の寸法に関係なく、標準圧縮強さ α (N)が低下すれば劣化係数Dが増加する。

そこで、Dと α との関係を対数関数で最小二乗近似すると、

$$D = 0.374 - 0.0820 \cdot \log_{10} \alpha \dots\dots (4)$$

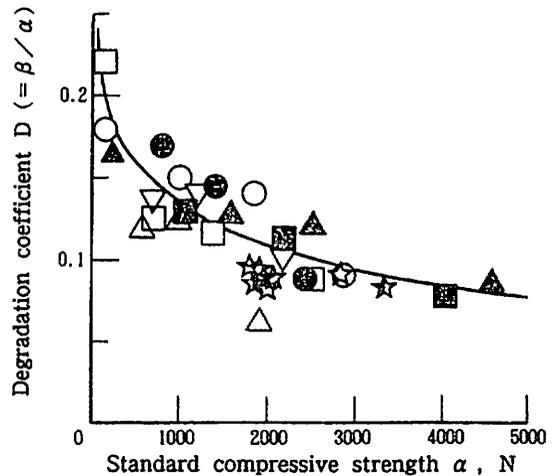


Fig. 6 Relationship between degradation coefficient and standard compressive strength

Regression function		Correlation coefficient
$D=0.374-0.0820 \cdot \log \alpha$		-0.849
○:sample A	●:sample B	△:sample C
▲:sample E	■:sample F	▽:sample G
☆:sample H	☆:sample I	☆:sample J
☆:sample L	☆:sample M	☆:sample N
		☆:sample O

となり、相関係数は-0.849となり、ある程度高い負の相関関係を示す。

標準圧縮強さが低下すれば劣化係数が増加することと劣化係数の性質から、標準圧縮強さの弱い段ボール箱ほど圧縮速度が減少したときに圧縮強さの低下する割合が大きいことを表している。

3. 6 速度補正強さと標準圧縮強さとの関係

Fig. 7に、各試料の速度補正強さと標準圧縮強さとの関係を示す。Fig. 7より、段ボールの材質や水分および段ボール箱の寸法に関係なく、標準圧縮強さ α (N)が低下すれば速度補正強さ β (N)も低下する。

そこで、 α と β との関係を一次関数で最小二乗近似すると、

$$\beta = 47.2 + 0.0754 \alpha \dots\dots\dots (5)$$

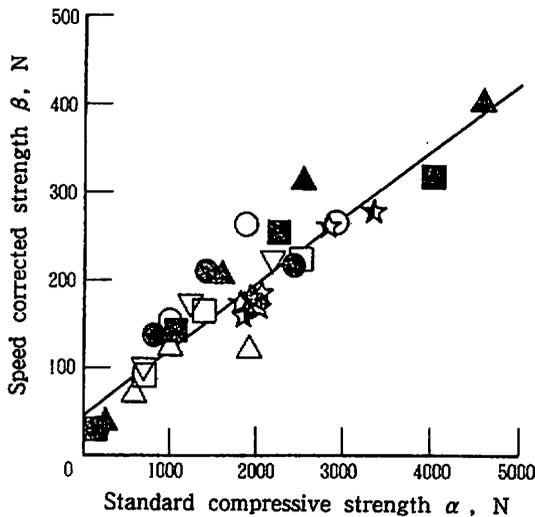


Fig. 7 Relationship between speed corrected strength and standard compressive strength

Regression line		Correlation coefficient	
$\beta = 47.2 + 0.0754 \alpha$		0.925	
○: sample A	●: sample B	△: sample C	□: sample D
▲: sample E	■: sample F	▽: sample G	
☆: sample H	☆: sample I	☆: sample J	☆: sample K
☆: sample L	☆: sample M	☆: sample N	☆: sample O

となり、相関係数は0.925となり、比較的高い正の相関関係を示す。

このことより、標準圧縮強さがわかれば近似的に速度補正強さがわかるので、すべての段ボールの材質(原紙構成)や段ボールの水分に対しても任意の圧縮速度における圧縮強さが推定できると考えられる。

4. 結 論

段ボール箱の圧縮強さに及ぼす圧縮速度の影響について、段ボールの材質や水分および段ボール箱の寸法をパラメータとして実験を行ってところ、各パラメータに関係なく以下の結果を得た。

- (1) 圧縮強さ P (N)と圧縮速度 V (mm/min)との関係は、 α を標準圧縮強さ(N)、 β を速度補正強さ(N)とすると、次式の対数関数で表せる。

$$P = \alpha + \beta \cdot \log_{10} (V/10)$$

- (2) 劣化係数を β/α と定義すると、標準圧縮強さが低下すれば劣化係数が増加することと劣化係数の性質から、標準圧縮強さの弱い段ボール箱ほど圧縮速度が減少したときに圧縮強さの低下する割合が大きい。

- (3) 標準圧縮強さが低下すれば速度補正強さも低下し、その関係は次式の一次関数で表せる。

$$\beta = 47.2 + 0.0754 \alpha$$

このことより、標準圧縮強さがわかれば速度補正強さがわかるので、任意の圧縮速度における圧縮強さが推定できる。

< 文 献 >

- 1) K. Q. Kellicutt, E. F. Landt, Forest Products Research Society, Preprint, 246 (1953)
- 2) R. C. Moody, K. E. Skidmore, Package Engineering, 11 (8), 75 (1966)
- 3) J. W. Koning, R. K. Stern, Tappi Journal, 60 (12), 128 (1977)
- 4) R. Thielert, Tappi Journal, 67 (11), 110 (1984)
- 5) 松田考司、包装技術、26 (6), 20 (1988)
- 6) 高田利夫、寺岸義春、野上良亮、中嶋隆勝、村上義夫、包装研究、10 (2), 29 (1990)

(受付 1992年5月25日)