重包装袋用紙としての紙の力学的性質 (IV)

山陽国策パルプ(株)東京研究所 大場富美雄

Mechanical Properties of Paper for Heavy Duty Paper Sack (IV)

Fumio Ohba

Tokyo Research Laboratory of Sanyo-Kokusaku Pulp Co., Ltd.

Service strength of heavy duty paper sack at drop test is influenced by relative humidity, drop height, weight of filled content and number of paper plies in addition to strength of paper.

In this paper influence of weight of filled content was chiefly investigated. Influences of number of paper plies and drop height were also discussed.

Experiments on influence of weight of filled content on the service strength of paper sack were carried out on the pasted valve type paper sack, using two kinds of contents, portland cement and fertilizer, and changing length of paper sack and weight of filled content.

Defining an apparent density ρ_{app} for filled content dependent on kinds of contents, repeated dropping times at failure of sack $\bar{v}$ was expressed with the apparent density ρ_{app} and weight of filled content W in the next formula according to multiple regression analysis.

$$\ln \bar{v} = 5.17 - 5.89 \ln \frac{W}{V_0} + 0.96 \ln \rho_{app}$$

Where V_0 is a volume of an original (unfilled) shape of paper sack. The original shape of paper sack is assumed to be an orthogonal hexahedron of length a_0 , face width b_0 and bottom width h_0 . ($V_0 = a_0 \times b_0 \times h_0$)

An apparent density ρ_{app} is defined as W_0/V_0 , where W_0 is the weight of content filled in the original space, an orthogonal hexahedron, of paper sack.

An influence of paper plies p on the service strength $\bar{v}$ of paper sack was experimentally studied and influence of drop height H on the service strength of paper sack was discussed based on some data of earlier reports.

It was found that linear relationships exist between $\ln p$ and $\ln \bar{v}$, and also between $\ln H$ and $\ln \bar{v}$.

Repeated dropping times at failure of paper sack was expressed with the next formula as functions of paper plies p , drop height H , weight of filled content W and an apparent density of filled content.

$$\bar{v} = c \cdot \frac{p^\alpha \cdot \rho_{app}^\beta}{H^\gamma W^\delta}$$

where c , α , β , γ , and δ are constants.

Keywords : Paper sack • Service strength • Content • Drop height • Plies

要 旨

重包装用クラフト紙袋の落下破袋強度は、使用原紙の強度のほかに、落下破袋時の湿度、落下高さ、内容物の充てん重量及び紙袋の層数等により影響を受ける。

本報では、この中で主として内容物の充てん重量による影響について検討し、あわせて紙袋の層数及び落下高さによる影響についても若干の検討を行った。

内容物の充てん重量による紙袋強度の変化については、のりばり重包装用紙袋を用いて実験し、充てん内容物としてセメント及び粒状肥料の2種類を用い、紙袋の袋長及び充てん重量を変化させて水平落下試験を行い、袋紙強度の変化を調べた。

内容物の相違については見かけの充てん密度 ρ_{app} を定義し、この ρ_{app} と充てん重量 W による破袋落下回数 $\bar{v}$ の変化を求めたが、重回帰分析により、今回の実験条件下ではこれらの間に次の関係が成立することを見出した。

$$\ln \bar{v} = 5.17 - 5.89 \ln \frac{W}{V_0} + 0.96 \ln \rho_{app}.$$

ここで V_0 は、紙袋を袋長 a_0 、胴幅 b_0 及び底幅 h_0 の直方体とした時の体積であり ($V_0 = a_0 \times b_0 \times h_0$) 見かけの充てん密度 ρ_{app} は、この直方体の形状を変えずに内容物を充てんしたとする時の充てん重量 W_0 と V_0 の比 W_0/V_0 で表わした。

袋紙の層数による影響については若干の実験を行っ

Table 1 Shape of pasted valve type paper sack used for the experiment with content A and drop test

Length of paper sack a_0 (cm)	Weight of filled content W (kg)	Dimension of sack filled with content $a \times b \times h$ (cm)	Shape factor of sack filled with content		Face drop test $\bar{v}$ (drops)
			Longitudinal factor h/a	Transverse factor h/b	
53.3	30	58.1×44.3×9.5	0.163	0.215	27.5
	35	56.6×42.5×13.0	0.230	0.305	5.4
	40	53.3×42.0×14.6	0.274	0.347	3.2
57.2	30	59.7×44.7×8.4	0.141	0.188	29.4
	35	59.1×43.3×10.0	0.168	0.231	9.2
	40	58.6×42.6×13.7	0.234	0.321	4.6
	45	57.3×40.5×15.5	0.270	0.383	2.2
	50	56.7×39.8×16.3	0.288	0.410	1.2
61.0	35	62.8×44.0×9.9	0.158	0.225	18.2
	40	61.6×42.9×11.5	0.187	0.270	7.8
	45	61.2×41.0×13.4	0.220	0.326	3.2
	50	61.0×40.1×15.8	0.260	0.393	2.2
	55	60.8×38.1×19.3	0.318	0.505	1.2
64.8	40	65.2×42.9×11.5	0.176	0.270	13.6
	45	64.9×42.1×11.9	0.184	0.282	4.4
	50	63.7×40.8×15.0	0.235	0.367	3.4
	55	61.8×39.5×16.6	0.270	0.420	1.4
68.6	40	70.5×43.0×11.4	0.162	0.265	19.8
	45	68.8×42.7×11.6	0.169	0.271	10.2
	50	68.6×42.4×14.0	0.205	0.330	6.6
	55	68.6×41.8×14.9	0.217	0.356	3.6
	60	68.5×39.5×16.7	0.244	0.422	2.4

a_0 : Length of original (unfilled) paper sack

a : Length of paper sack filled with content A

b : Face width of paper sack filled with content A

h : Thickness of paper sack filled with content A

$\bar{v}$: Average repeated dropping times at failure of sack

Content A: Portland cement (powder)

Table 2 Shape of pasted valve type paper sack used for the experiment with content B and drop test

Length of paper sack a_0 (cm)	Weight of filled content W (kg)	Dimension of sack filled with content $a \times b \times h$ (cm)	Shape factor of sack filled with content		Face drop test $\bar{v}$ (drops)
			Longitudinal factor h/a	Transverse factor h/b	
53.3	30	54.5×42.6×13.3	0.245	0.311	22.8
57.2	30	55.0×42.2×13.2	0.235	0.312	23.2
	33	55.3×40.8×14.9	0.270	0.355	17.4
61.0	33	60.5×42.3×13.3	0.220	0.315	20.6
	33	60.2×40.6×15.2	0.252	0.374	14.8
64.8	33	64.3×42.6×12.7	0.198	0.298	23.4
	33	63.9×41.7×15.2	0.238	0.354	17.4
	39	62.2×40.5×15.3	0.245	0.378	7.6
68.6	35	69.5×42.9×13.1	0.189	0.305	25.0
	39	68.9×41.9×14.9	0.216	0.355	14.6
	42	67.0×40.8×17.2	0.257	0.421	8.6

a_0 : Length of original (unfilled) paper sack

a : Length of paper sack filled with content B

b : Face width of paper sack filled with content B

h : Thickness of paper sack filled with content B

$\bar{v}$: Average repeated dropping times at failure of sack

Content B: Artificial fertilizer (granule)

て検討し、落下高さの影響については2~3の報告で示されているデータを検討したが、破袋落下回数 $\bar{v}$ との関係は、いずれも両者の対数間に直線関係が成立することを認めた。

以上の結果をまとめ、袋紙の層数 p 、落下高さ H 、内容物の充てん重量 W 及び充てん密度 ρ_{app} と破袋落下回数 $\bar{v}$ との関係は、次式で示されることを得た。

$$\bar{v} = c \cdot \frac{p^\alpha \cdot \rho_{app}^\beta}{H^\beta \cdot W^r}$$

(c, α, β, r 及び $\delta > 0$)

ここで c, α, β, r 及び δ は他の条件が一定であれば常数として示されるが、条件が変化した時のこれらの値の変化——例えば $W=W_1$ の時と W_2 の時の β の値の変化——については今回は検討に至らなかった。

1. 結 言

重包装クラフト紙袋の強度は、使用原紙の強度のほかに、落下破袋時の湿度、落下高さ、内容物の充てん重量及び紙袋の層数等により影響を受けることが考えられる。

落下破袋時の湿度による影響については、既にMc-kee⁷⁾らにより、プレーンクラフト紙袋及びクルパック

紙袋について詳細な報告がなされており、また落下高さによる破袋強度の変化については、1層の小型袋について、門屋 卓らにより^{2), 3)}、いくつかの実験データが示されている。

そこで本報では、主として落下破袋強度に及ぼす内容物の充てん量の影響について検討を行い、あわせて紙袋の層数による影響についても若干の検討を行った。

2. 落下破袋強度に及ぼす内容物の充てん重量の影響

2.1 実験条件

試験紙袋としては、未晒のプレーンクラフト紙3層よりなる、のりばり重包装用紙袋を用いた。

充てん内容物としてはA(粉体—セメント)及びB(粒体—化成肥料)の2種類を用いて実験した。

紙袋の寸法及び内容物の充てん重量: 紙袋の胴幅を49.5 cm、底幅を8.9 cmとして、袋長を53.3~68.6 cmの範囲で変化させ、充てん重量は、内容物Aの時は30~60 kgの範囲、内容物Bの時は30~42 kgの範囲で変化させて実験した。落下試験としては、落下高さ1.5 mの水平落下試験を行い、落下破袋強度としては、破袋するまでの落下回数で示した。

2.2 実験結果

Dimension of original (unfilled) shape of paper sack as an orthogonal hexahedron

Cross section of original (unfilled) shape of paper sack

Cross section of filled paper sack with content

Fig. 1 Shape of pasted valve type paper sack

Fig. 2 Shape factor of paper sack filled with content $F_{C.D.}$ vs W/V_0 (g/cm^3)

Shape factor of paper sack filled with content is $F_{C.D.} = h/b$

h (cm): Thickness of paper sack filled with content

b (cm): Width of paper sack filled with content

W (kg): Weight of filled content

V_0 (cm^3) = $a_0 \times b_0 \times h_0$, where a_0 , b_0 and h_0 are respectively length, face width and bottom width of paper sack

● — ● : Content A, $W/V_0 = 3.75 F_{C.D.} + 0.770$

○ — ○ : Content B, $W/V_0 = 2.17 F_{C.D.} + 0.803$

充てん内容物Aについての実験結果を表1に、内容物Bについての結果を表2に示した。

なお表中の充てん率は、次のように定義した値である。

充てん率：紙袋の寸法を袋長 a_0 、胴幅 b_0 、及び底幅 h_0 で表わすと、一般に内容物の充てんと共に紙袋はふくらんで図1に示すように、袋の袋長方向及び胴幅方向は短くなり底幅方向は大となる。そこで内容物を充てん後の袋長方向の長さを a 、胴幅方向の長さを b 、底幅方向の高さを h で表わし、充てん状態を表わす指標として h/a を縦充てん率、 h/b を横充てん率と定義した。

2.3 実験結果の検討

充てん内容物が1種類の場合であれば、充てん重量と落下破袋強度との関係を求めるだけでよいが、充てん内容物が異なる場合の比較も含めて考えると、内容物の充てん密度の影響も考慮に入れる必要があると考えた。

そこで上記の結果より内容物2種類について見かけの充てん密度 ρ_{app} を定義し、これと充てん重量を用いて落下破袋強度との関係を検討した。

2.3.1 見かけの充てん密度 ρ_{app}

紙袋を袋長 a_0 、胴幅 b_0 、及び底幅 h_0 よりなる体積 V_0 ($V_0 = a_0 \times b_0 \times h_0$) の直方体と考え(図1)、この形状を変えずに体積 V_0 に内容物を充てんしたとする時の充てん重量 W_0 と V_0 の比 W_0/V_0 をもって、見かけの充てん密度 ρ_{app} とした。

この W_0/V_0 の値は、充てん率を用いて次のように実験データより求めた。

一般に内容物を充てんしていくと、充てん率は増加するが、初めにこの充てん重量と充てん率の関係を求めた。ただ、紙袋の袋長を変化させ大きさを変えているので、充てん重量を前記の V_0 で割った値 W_0/V_0 を縦軸にとり、また充てん率としては横充てん率 $F_{C.D.}$ を用いて横軸に示した。

内容物A及びBについての $F_{C.D.}$ と W/V_0 の関係を図2に示す。

この結果によれば、両者の関係はほぼ直線で示され、その回帰直線を求めると、それぞれ次の(1)式及び(2)式を得た。

$$\text{内容物A: } \frac{W}{V_0} = 3.750 F_{C.D.} + 0.770 \quad (\text{相関係数 } r = 0.97) \quad (1)$$

$$\text{〃 B: } \frac{W}{V_0} = 2.173 F_{C.D.} + 0.803 \quad (\text{相関係数 } r = 0.91) \quad (2)$$

この関係より、袋紙の初めの形状の横充てん率に相当

する値 $h_0/b_0=0.219$ の時の W/V_0 値を図 2 あるいは上記の関係式より求め、見かけの充てん密度 $\rho_{app.}=W_0/V_0$ とした。

内容物 A 及び B のそれらの値は、それぞれ 1.591 及び 1.279 と得られた。

2.3.2 内容物の充てん重量 W 及び見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ と破袋落下回数 $\bar{v}$ との関係

充てん内容物は A 及び B の 2 種類についてのみであるが、このようにして求めた見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ 及び充てん重量 W と破袋落下回数 $\bar{v}$ との関係を重回帰分析より求め、次の (3) 式を得た (重相関係数 $R=0.97$)

$$\ln \bar{v} = 5.168 - 5.885 \ln \frac{W}{V_0} + 0.961 \ln \rho_{app.} \quad (3)$$

(3) 式に充てん重量 W 及び見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ の数値を入れ、計算した破袋落下回数を算出値として $\bar{v}_{cal.}$ で示し、算出値 $\bar{v}_{cal.}$ と測定値 $\bar{v}$ の比較を図 3 に示した。両者の絶対値も比較的近く、(3) 式は充てん重量と見かけの充てん密度による破袋落下回数の変化をよく表わしていることが示されている。

(3) 式は、充てん重量 W が同一の時は、見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ が小さい方が破袋落下回数 $\bar{v}$ は小となり、見かけ密度が同一の場合、すなわち同一内容物の時は、充てん重量が大きくなると破袋落下回数が小さくなることを示している。

前者の充てん重量が同一で充てん密度が小さいということは、同一充てん重量でも内容物の占める体積は大きくなり、それだけ袋にとって苛酷となり、破袋強度は弱くなることを示しており、通常考えられる結果を表わしている。

2.3.3 横充てん率 $F_{C.D.}$ 及び見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ と破袋落下回数 $\bar{v}$ との関係

これは内容物充てん後の袋紙の形状と内容物の種類を示す充てん密度による破袋強度の変化を求めたものである。

前記と同種の手法で重回帰分析により、これらの関係を求めたが、その結果次の (4) 式を得、重相関係数として 0.96 を得た。

$$\ln \bar{v} = 0.697 - 3.553 \ln F_{C.D.} - 6.800 \ln \rho_{app.} \quad (4)$$

また 2.3.2 と同様に、(4) 式による算出値 $\bar{v}_{cal.}$ と測定値 $\bar{v}$ の比較を図 4 に示した。

(4) 式によれば、充てん率が同じ時——すなわち内容物充てん後の紙袋の形状が同じ時——は見かけの充てん密度が大きい方が破袋強度は低下することを示している。これは充てん後の紙袋の形状が同じでも充てん密度が大きいということは、充てん重量が大となり、

Fig. 3 Comparison of calculated values $\bar{v}_{cal.}$ and measured values $\bar{v}$

$\bar{v}$ (times) : Repeated dropping times at failure of sack

$\bar{v}_{cal.}$: Calculated values based on the next regression formula (3)

$$\ln \bar{v}_{cal.} = 5.17 - 5.89 \ln W/V_0 + 0.96 \ln \rho_{app.}$$

Fig. 4 Comparison of calculated values $\bar{v}_{cal.}$ and measured values $\bar{v}$

$\bar{v}$ (times) : Repeated dropping times at failure of sack

$\bar{v}_{cal.}$: Calculated values based on the next regression formula (4)

$$\ln \bar{v}_{cal.} = 0.70 - 3.55 \ln F_{C.D.} - 6.80 \ln \rho_{app.}$$

破袋強度が低下することを示している。

また、見かけの充てん密度が同じで充てん率が大となることは、同じ内容物で充てん重量が増加すること

Fig. 5 Comparison of calculated values $\bar{v}_{cal.(7)}$ and $\bar{v}_{cal.(3)}$

$\bar{v}_{cal.(7)}$: Calculated values of $\bar{v}$ based on the regression formula (7) in the report

$\bar{v}_{cal.(3)}$: Calculated values of $\bar{v}$ based on the regression formula (3) in the report

$\bar{v}$: Repeated dropping times at failure of sack

であり、破袋強度が弱くなることを示している。

2.3.4 充てん密度による充てん率の変化について

W/V_0 と充てん率の関係は、内容物A及びBそれぞれについて図2に示した。

図2では内容物A、Bそれぞれについて上記の関係を示したが、充てん率は充てん重量と共に充てん密度の関数でもあるはずである。

(1)及び(2)式を書き直し、 $F_{C.D.}$ を W/V_0 の関数として表わすと(1')及び(2')式となる。

$$\begin{aligned} \text{内容物A: } F_{C.D.} &= 0.219 + 0.267 (W/V_0 - 1.591) \\ &= 0.219 + 0.267 (W/V_0 - \rho_{app.}) \end{aligned} \quad (1')$$

$$\begin{aligned} \text{内容物B: } F_{C.D.} &= 0.219 + 0.460 (W/V_0 - 1.279) \\ &= 0.219 + 0.460 (W/V_0 - \rho_{app.}) \end{aligned} \quad (2')$$

W/V_0 の比例係数0.267及び0.460は充てん重量が増加することによる充てん率の変化であるから、この比例係数は充てん密度の関数であることが推定される。

そこでここでは、この比例係数 k を $\rho_{app.}$ で表わし、これが見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ に比例して減少すると仮定し、内容物A及びBの2種類のデータより k と $\rho_{app.}$ の関係を求めると次の(5)式を得た(末尾備考参照)。

$$k = 1.251 - 0.691 \rho_{app.} \quad (5)$$

従って、(1')及び(2')式をまとめ、(5)式を用いて充てん重量 W 及び見かけの充てん密度 $\rho_{app.}$ により、充てん率 $F_{C.D.}$ を表わすと、次の(6)式を得る。

$$F_{C.D.} = 0.219 + (1.252 - 0.619 \rho_{app.}) (W/V_0 - \rho_{app.}) \quad (6)$$

なお、(6)式を(4)式に入れると、(3)式と同じように破袋落下回数 $\bar{v}$ が W/V_0 と $\rho_{app.}$ で表わされるが、その結果は(7)式で示される。

$$\begin{aligned} \ln \bar{v} &= 0.697 - 3.553 [0.219 + (1.252 - 0.619 \rho_{app.}) \\ &\quad \frac{W}{V_0} - 1.252 \rho_{app.} + 0.619 \rho_{app.}] - 6.800 \ln \rho_{app.} \end{aligned} \quad (7)$$

この(7)式は(3)式と同等であるはずであるが、これを一般式で証明することはできなかったため、今回の測定範囲の W/V_0 及び $\rho_{app.}$ について $\bar{v}$ を算出し、(3)式及び(7)式による算出値を比較したが図5のように比較的によい一致を示した。

2.4 補足実験及びその他の補足的検討

ミシンぬい重包装用紙袋については、内容物としてBを用いた場合についてのみ実験した。

このように充てん内容物が1種類であったので、充てん密度の影響については明らかにできなかったが、てん率と充てん重量、充てん重量と破袋落下回数及び充てん率と破袋落下回数については、のりばり袋の時と同様な関係が得られ、回帰式として(8)式、(9)式及び(10)式を得た。

ミシンぬい袋の寸法は、胴幅40.6cmガセット幅7.6cmとし、袋長を63.5~78.7cmの範囲で変化させた。充てん重量は27~42kgの範囲で変化させた。

ミシンぬい袋の場合の試験結果を表3に示す。

なおミシンぬい袋の場合、紙袋の体積 V_0 を算出する時、袋長 a_0 としては表示袋長より2.54cmを差引いた値を用いて算出した。(上下ミシン目より1.27cmを差引く)

$$\frac{W}{V_0} = 3.309 F_{C.D.} + 0.376 \quad (8)$$

紙袋のガセット幅 h_0 と胴幅 b_0 の比として $h_0/b_0 = (F_{C.D.})_0 = 0.187$ を得るので、(8)式の $F_{C.D.}$ にこの値を入れ、見かけの充てん密度として $\rho_{app.} = (W_0/V_0) = 0.995$ を得る。

$$\ln \bar{v} = -6.074 \ln \frac{W}{V_0} + 3.553 \quad (9)$$

$$\ln \bar{v} = -4.533 \ln F_{C.D.} - 3.817 \quad (10)$$

充てん内容物の種類による影響としては、充てん密度のほかに、内容物の流動性の影響も考えられる。これについては、J. Chernらが⁹⁾包装材料を円筒形状にし、その中に内容物を充てんし、上から静的な圧力をかけて包装材料を内圧で破裂させる時、内容物として水を用いた時との破裂内圧の比で流動性の大小を表わし、これと破裂強度との関係を示しているが、今回は

Table 3 Sizes of seven type paper sack used for the experiment with content B and drop test

Length of paper sack a_0 (cm)	Weight of filled content W (kg)	Dimension of sack filled with content $a \times b \times h$ (cm)	Shape factor of sack filled with content		Face drop test $\bar{v}$ (drops)
			Longitudinal factor h/a	Transverse factor h/b	
63.5	27	53.9 $\times$ 42.0 $\times$ 12.6	0.284	0.300	5.4
	30	52.1 $\times$ 40.0 $\times$ 14.9	0.285	0.372	2.8
67.3	24	58.2 $\times$ 43.1 $\times$ 10.3	0.176	0.239	14.4
	27	57.8 $\times$ 42.4 $\times$ 12.1	0.210	0.285	7.6
	30	57.5 $\times$ 40.4 $\times$ 13.9	0.241	0.345	4.0
	33	53.4 $\times$ 40.0 $\times$ 15.0	0.235	0.375	1.4
71.1	27	61.4 $\times$ 42.5 $\times$ 11.4	0.183	0.239	9.4
	30	61.2 $\times$ 42.0 $\times$ 13.0	0.211	0.310	5.4
	33	60.9 $\times$ 40.0 $\times$ 14.2	0.233	0.355	2.8
	33	60.0 $\times$ 39.5 $\times$ 16.1	0.269	0.375	1.2
74.9	27	66.2 $\times$ 42.0 $\times$ 10.1	0.152	0.240	10.8
	30	65.8 $\times$ 42.6 $\times$ 11.9	0.182	0.280	6.8
	33	65.5 $\times$ 41.7 $\times$ 12.5	0.191	0.300	4.6
	33	65.1 $\times$ 41.2 $\times$ 13.5	0.207	0.327	3.2
	39	62.2 $\times$ 40.5 $\times$ 15.2	0.243	0.375	1.6

a_0 : Length of original (unfilled) paper sack

a : Length of paper sack filled with content B

b : Face width of paper sack filled with content B

h : Thickness of paper sack filled with content B

$\bar{v}$: Average repeated dropping times at failure of sack

Content B: Artificial fertilizer (granule)

この検討は行わなかった。

3. 紙袋強度に及ぼす他の因子についての若干の検討

前述したように、紙袋の落下破裂強度は、充てん内容物のほかに紙袋の層数及び落下高さによっても変化する。

紙袋の層数による影響については、若干の実験を行ったので、これを報告し、落下高さによる影響については、いくつかの実験データが報告されているので^{2), 3), 9)}、これを同じ形式にまとめてみた。

3.1 紙袋強度に及ぼす紙袋層数の影響

セメント用ミシンぬい重包装用紙袋 (74.9 $\times$ 41.9 $\times$ 7.6 cm) 及びのりばり重包装用紙袋 (64.8 $\times$ 49.5 $\times$ 8.9 cm) についてセメント 50 kg を充てんし、3 層、4 層及び 6 層袋について落下高さ 1.5 m からの水平落下試験を行った。

その結果、紙袋の層数 p と破袋落下回数 $\bar{v}$ との間にミシンぬい袋及びのりばり袋のそれぞれについて図 6

Fig. 6 Plies of paper sack p vs Average dropping times at failure of paper sack $\bar{v}$

●—●: Pasted valve type

Regression formula, $\ln \bar{v} = 1.68 \ln p + 0.210$

○---○: Sewn type

Regression formula, $\ln \bar{v} = 2.18 \ln p - 0.69$

Fig. 7 Drop height H vs Average dropping times at failure of sack $\bar{v}$

(i) : $\ln \bar{v} = -2.98 \ln H + 13.06$

J. Bergstöm : Svensk Papperst. 61, 5, 119 ~127 (1958)

(ii) : $\ln \bar{v} = -2.49 \ln H + 13.77$

T. Kadoya : JAPAN TAPPI. 11, 4, 34~41 (1957)

の関係が得られ、両者の対数の間に直線関係があることが示された。

回帰分析により回帰式を求め、(11)及び(12)式を得た。

$$\text{ミシンぬい袋} : \ln \bar{v} = 2.175 \ln p - 0.687 \quad (11)$$

$$\text{のりばり袋} : \ln \bar{v} = 1.682 \ln p + 0.210 \quad (12)$$

なお、垂直落下(落下高さ1.2m)及び横落下(高さ0.9m)についても、ミシンぬい袋を用い、内容物として肥料30kgを充てんし、紙袋層数3, 4及び6層袋について同様の実験を行ったが、水平落下の時と同様に紙袋の層数 p と破袋落下回数 $\bar{v}$ の両者の対数の間に直線関係が得られ、回帰分析により回帰式として(13)及び(14)式を得た。

$$\text{垂直落下} : \ln \bar{v} = 2.750 \ln p - 2.350 \quad (13)$$

$$\text{横落下} : \ln \bar{v} = 0.556 \ln p + 0.728 \quad (14)$$

なお、垂直落下における紙袋層数と破袋落下回数の関係については、J. Chern⁸⁾ その他の報告充若干の所見が示されている。

また、紙袋の層数に対応するものとして、使用原紙の坪量増加が紙袋強度に及ぼす影響が考えられるが、この場合は一般的には坪量増加は紙質強度の増加で表わすことができ、従って使用原紙の紙力強度と紙袋強度の関係となる。これについては既往のいくつかの報告に示されている^{4), 10)~12)}

3.2 落下高さの影響

落下高さの影響については門屋卓³⁾及びJ. Bergstrom³⁾らが、のりばり小型1層袋についてであるが、

水平落下試験のデータを示している。回帰分析によりこれらをまとめると、いずれも落下高さ H と破袋落下回数 $\bar{v}$ の間には、図7に示すように両者の対数間で、ほぼ直線関係が成立することが認められた。その回帰直線として、次の(15)及び(16)式が得られた。

$$\ln \bar{v} = -2.49 \ln H + 13.77 \quad (15)$$

$$\ln \bar{v} = -2.98 \ln H + 13.06 \quad (16)$$

この両方の結果は、比較的に近い結果を示しており、これより他の条件が同一の場合は、破袋落下回数は落下高さの2.5~3乗に逆比例して増減することが推定できる。

以上の結果をまとめると、内容物の充てん重量 W 、充てん密度 ρ_{app} 、紙袋の層数 p 及び落下高さ h と破袋落下回数との関係を求めると、いずれもその対数間でほぼ直線関係が成立し、次の関係式で表わされる。

$$\bar{v} = c \cdot \frac{p^\alpha \cdot \rho_{app}^\beta}{H^\gamma \cdot W^\tau}$$

(c, α, β, γ 及び $\delta \geq 0$)

ここで c, α, β, γ 及び δ は他の条件が一定であれば常数であるが、条件が変化した時のこれらの値の変化——化例えば $W=W_1$ の時と W_2 の時の β の値の変化——については、今回は検討に至らなかった。

4. 結 論

重包装用クラフト紙袋の強度は、使用原紙の強度のほかに、落下破袋時の湿度、落下高さ、内容物の充てん重量及び紙袋の層数等により変化すると考えられる。

本報では、この中で主として内容物の充てん重量による影響について検討し、あわせて紙袋の層数及び落下高さによる影響についても若干の検討を行った。

内容物の充てん重量による破袋強度の変化については、のりばり重包装用紙袋を用い、充てん内容物としてセメント及び粒状肥料の2種類を用いて、紙袋の袋長及び充てん重量を変化させて水平落下試験を行い、破袋強度の変化を調べた。

内容物の相違については、見かけの充てん密度 ρ_{app} を定義し、この ρ_{app} と内容物の充てん重量 W による破袋落下回数 $\bar{v}$ の変化を求めたが、重回帰分析によりこれらの間に次の関係式が成立することを認めた。

$$\ln \bar{v} = 5.17 - 5.89 \ln \frac{W}{V_0} + 0.96 \ln \rho_{app}$$

ここで V_0 は紙袋を袋長 a 、胴幅 b_0 及び底幅 h_0 の直方体とした時の体積であり($V_0 = a \times b_0 \times h_0$)見かけの充てん密度 ρ_{app} は、この直方体の形状を変えずに内容物が充てんされたとした時の充てん重量 W 、 V_0 の比 W_0/V_0 を以て表わした。

紙袋の層数による影響については、若干の実験を行って検討し、また落下高さによる影響については、2～3の報告で示されているデータを検討したが、破袋落下回数との関係は、いずれも対数間に直線関係が成立していることを認めた。

以上の結果をまとめ、紙袋の層数 p 、落下高さ H 、内容物の充てん重量 W 及び充てん密度 ρ_{app} と破袋落下回数 $\bar{v}$ との関係を求めると、次式の形で示される。

$$\bar{v} = c \cdot \frac{p^{\alpha} \cdot \rho_{app}^{\beta}}{H^{\delta} \cdot W^{\tau}}$$

(c, α, β, τ 及び $\delta > 0$)

ここで c, α, β, τ 及び δ は、他の条件が一定であれば常数であるが、条件が変化した時のこれらの値の変化——例えば $W=W_1$ の時と W_2 の時の β の値の変化——については、今回は検討に至らなかった。

備考：充てん率と充てん重量の関係における充てん重量の比例係数 k の求め方（本文中(5)式の求め方）

上記の比例係数 k は見かけの充てん密度 ρ_{app} の関数と考えられるが、内容物A及びBの2種類の値より推定し比例して減少すると仮定すると、次の関係式が得られる（図8）。

$$\frac{k-0.267}{1.591-\rho_{app}} = \frac{0.460-0.267}{1.591-1.279}$$

これより(5)式が得られる。

参 考 文 献

- 1) Rudolf Heiss : das Papier 10, 3/4 37 (1956)
- 2) 門屋 卓 : 紙パ技協誌, 11, 4, 34 (1957)
- 3) J. Bergström : Svensk Papperst. 61, 5, 119

Fig. 8 Apparent density of filled content ρ_{app} vs Proportional coefficient k
 k : Proportional coefficient in the formula (5) in the report

(1958)

- 4) 藤波宣陽, 岡村武文 : 紙パ技協誌 14, 11, 36 (1960)
- 5) 藤波宣陽, 岡村武文 : 紙パ技協誌 15, 4, 22 (1961)
- 6) R. C. McKee and W. J. Whitsitt : Tappi 47, 4, 215 (1964)
- 7) R. C. McKee and W. J. Whitsitt : Tappi 47, 5, 298 (1964)
- 8) J. Chern and E. W. Kuenzi : Tappi 55, 10, 1477 (1972)
- 9) A. Juselius : Paperi ja Puu 58, 9, 602 (1976)
- 10) W. E. Carlson : Tappi 64, 8, 85 (1981)
- 11) 大場富美雄 : 包装研究, 2, 49 (1982)
- 12) 大場富美雄 : 包装研究, 3, 1 (1983)

(受理 58. 8. 5)