

一般論文

クラフト・ライナーに加工方向せん断力を与えたときの段ボールの弾性応力解析

(接合部の接合状態と応力状態の関係)

松島理* 松島成夫**

Elastic Stress Analysis of Corrugated Fiberboard under Shearing Force of Machine Direction on Kraftliner Surface (Stress Pattern and Connecting Pattern)

Satoru MATSUSHIMA*, Shigeo MATSUSHIMA**

An elastic analysis of kraft liner (KL) and semichemical corrugating medium (SCM) in single wall corrugated fiberboard under the shearing force applied along the machine direction on the KL surfaces was studied by the finite element method. And from obtained values, the stress distribution pattern was discussed, and the difference from results obtained by the bending analysis was investigated. Then following results are obtained.

Maximum values of normal stresses σ_x and σ_y in the machine and thickness directions and the shear stress τ_{xy} are near ends of the joints, and stress values on opposite surfaces for the surface of the joint middle are zero. In the region of SCM except the domain near the joint, σ_x and σ_y distribute antisymmetrically in both side of the joint, and absolute maximum values are on both surfaces at positions about $\pm L/16$ (L : wave-length of SCM) of the machine direction from the joint middle. Stresses τ_{xy} distribute symmetrically and positions of absolute maximum values are nearly at same positions for σ_x and σ_y .

Keywords : Computational mechanics, Structural analysis, Elastic bending, Strength of corrugated fiberboard, Elastic stress analysis, Structure strength, Numerical analysis, Stress concentration

両面段ボールのクラフトライナー (KL) 面に加工方向のせん断力を働かした際の KL および中芯の弾性応力解析を有限要素法によっておこなった。そして、得られた結果より、諸応力分布状況を議論し、はりの曲げ応力解析法の結果との相違を検討した。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

段ボールの加工方向および厚さ方向の垂直応力 σ_x および σ_y およびせん断応力 τ_{xy} の絶対値の最大値は KL・中芯接合部両端付近にあり、接合部中央の接合面に対する反対側表面の諸応力値は零である。接合部付近を除く域の中芯の σ_x および σ_y は接合部中央に対して反対称的に分布し、その絶対値の最大値は接合部中央から加工方向に $\pm L/16$ (L : 中芯の波長) 程度離れた両表面に生じる。 τ_{xy} は対称的に分布し、その絶対値の最大値は σ_x および σ_y の場合と同様のところに生じる。

キーワード : 計算力学、構造解析、弾性曲げ、段ボールの強度、弾性応力解析、構造強度、数値解析、応力集中

* 帝人製機(株)松山工場 (〒791 愛媛県松山市北吉田町77) : Matsuyama Factory, Teijin Seiki, LTD., 77 Kitayoshida-cho, Matsuyama-shi, Ehime, 791 ** 愛媛大学工学部機械工学科 (〒790-77 愛媛県松山市文京町3番) : Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Ehime University, 3 Bunkyou-cho, Matsuyama-shi, Ehime, 790-77

1. 緒言

段ボール^{1) 2)}は、構造物としての形状、また生産性から見て非常に有用性の高いものであり、包装用箱材、構造材、緩衝材として広く利用されている。また、類似したものとして、波底を固定した波形鋼板、スレート材および樹脂材の波板の利用が多々見受けられ、特殊な適用のものでは、航空機体（筒形段ボール状）³⁾がある。したがって、段ボールのクラフト・ライナー（KL）および中芯（SCP medium）についての応力の状況を明らかにし、その力学的強度機構を明確にすることは、段ボール工学上ばかりでなく、構造工学上からみても意義あることと考えられる。

段ボールの強度^{4) 5)}および段ボール箱の強度^{6) ~ 8)}等に関する実用的研究は既に行われ、段ボールの反り⁹⁾に関する研究、幾何学的条件を基にした段ボールの引張り変形強度機構についての研究がある¹⁰⁾。弾性変形については、波板の曲げ剛性に関する研究¹¹⁾、面圧を受ける段ボール中芯の内部応力等に関する研究¹²⁾、その中芯と波板との内部応力¹³⁾および変位¹⁴⁾、中芯形状¹⁵⁾の相違等に関する研究がある。さらに、曲げモーメント軸が流れ方向（フルートの流れ方向）にある際の片面¹⁶⁾、両面¹⁷⁾および複両面¹⁸⁾段ボールの弾性曲げ強度の研究があり、曲げモーメント軸が流れ方向に直角な向きにある際の曲げ（流れ方向曲げ）強度に関する基礎的研究¹⁹⁾もある。また、中芯の形状と弾性応力の状況との関係についての研究²⁰⁾およびその曲げに伴う面圧縮の研究²¹⁾がある。

段ボール状材の組合せ構造をなす構成上における基本的な強度の要因は波板と表面平板

との接合部の接合強度にあるものと考えられる。その理由は、素材となる波板と表面平板との接合によって段ボール構造材が保たれていることにある。したがって、段ボールのKLと中芯との結合強度を明らかにすることは、段ボール構造に関する工学的見地からみて重要なことであると考えられ、その一基本的試験として段ボールシートの結合強さ（ピンテスト）²²⁾、また、接合部のずれ強度に関する試験²²⁾がある。そして、引離し変形時の弾性曲げ応力解析法により弾性応力状態を議論した研究²³⁾、KL・中芯接合部付近の諸応力状況およびその応力と接合幅との関係などを議論した研究²⁴⁾がある。ずれ強度に関するものは²⁵⁾弾性曲げ応力解析法によるものがあるが、さらに、実用的議論に必要と思われる接合部および接合形状に伴う応力状況を議論したものは見受けられない。

そこで、筆者らは、前報^{12) ~ 17)}にならい、中芯の形状を近似的に正弦波形のものとし、上下面KLの流れ方向（加工方向）にずれ変形力が働く際の両面段ボールのKL・中芯接合部の応力状況を有限要素法によって明らかにし、同時に、接合幅の強度への影響を議論することを試みた。そしてさらに、はりの曲げによる応力解析法の結果との相違をも議論することを試みた。

2. 解析方法

本計算に用いる段ボールの形状は、KLおよび中芯の厚さ T_k および T_s を共に0.30mm、中芯の波形の長さ L および高さ h を、実用段ボールにしたがい、9.2mmおよび4.6mm²⁶⁾であるとし、KLおよび中芯の縦弾性係数 E_k

および E_s は、既知の値^{27), 28)} にしたがって、 $4.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ および $2.7 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ であるとする。

一般に用いられている段ボールは幅広いものであり、その段ボールに流れ方向にずれ力が働く際、その変形は平面ひずみ変形と同様なものとみなせ、その変形は、前報^{12), 17)} に示すように、近似的に、単位幅をもつ平面ひずみはりと同様なものであると考えられる。

そこで、前報^{12), 17)} にしたがって、中芯の波形を簡便で近似度の高いものとして正弦波状にし、前報と同様に、KL および中芯を平板および正弦波形曲り板とみなし、各素材の応力状況を議論する。

便宜上、流れ方向を x 軸に、段ボールの厚さ方向を y 軸にとり、段ボールおよび中芯の厚さ中央となる点を原点とする (Fig. 1 参照)。そして、 x および y 方向に直角な方向を z とする。

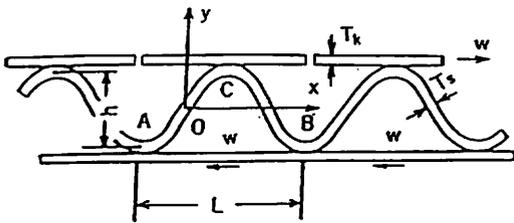


Fig. 1 Corrugated fiberboard under shear test and coordinate
 $L = 9.2 \text{mm} : h = 4.6 \text{mm} : T_t = T_s = 0.30 \text{mm}$

すると、 $z = \text{一定}$ のところでは、中芯の厚さ中心の位置 y_0 および y_0 から厚さ方向に t の距離にある位置 y は、近似的に、各

$$y_0 = (h/2) \sin(2\pi x/L) \dots\dots\dots (1)$$

$$y = y_0 + t \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

で表される。ただし、 θ は y_0 の接線の方向と x 方向とのなす角

$$\theta = \tan^{-1}(dy_0/dx) \dots\dots\dots (3)$$

である。

両面段ボールの両表面 KL にずれ変形力 (せん断力) が KL 紙面に沿って働く際 (Fig. 1 参照)、段ボールの上下、左右の対称性を考慮し、変形を議論するための基本となる域は、Fig. 1 に示す $x = 0 \sim L/2$ であると考えられる。

そして、KL・中芯接合部の接合状態を前報²⁴⁾ の引離しの際と同様に Fig. 2 (b) のようにし、その接合部の幅 Δb の影響を議論するために、 $\Delta b = 0.10 \sim 0.50 \text{mm}$ (主に、 $\Delta b = 0.30 \text{mm}$) の要素形状を設定した。そして、中芯は式 (1) および式 (2) のような正弦波状のものであるとした。このようにした際、KL・中芯接合部付近で、Fig. 2 (a) に示すように KL と中芯との重複の部分が生じる。そこで、その重複部分は、便宜上、前報²⁴⁾ と同

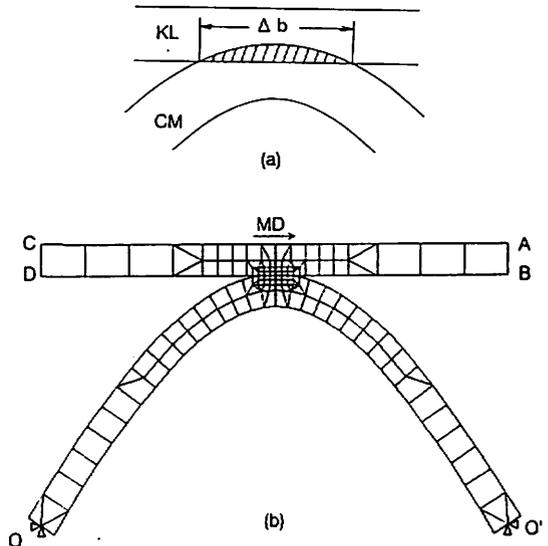


Fig. 2 Element of fundamental range for fiberboard
 (a) Materials of KL and SCM elements at KL・SCM joint
 (b) Elements of FEM in joint width $\Delta b = 0.30 \text{mm}$

様にKL材であるものとみなし、計算処理および議論をおこなう。

以上のことを考慮し、有限要素法（機械学会提供CAI；FD：serial No.000191）によって、 $x = 0 \sim L/2$ の範囲を基本とした域の弾性変形解析をおこなうことを試みる。

その要素形状の設定は、Fig. 2 (b)のように、四角形要素（数130～140）によっておこない、接合部の要素は同形の大きさ（0.05 mm）のものに統一した。そして、ずれ変形をおこす作用力（すなわち、せん断力） W は、一様ずれの際、Fig. 2 (b)の位置AB（ $x = L/2$ 、 $y = (h + T_s + T_k) / 2$ ）、CD（ $x = 0$ 、 $y = (h + T_s + T_k) / 2$ ）に $W/2$ ずつ働く場合とABに W が働く場合とが考えられるが、ずれ試験²²⁾の変形状態を考慮すると、後者の位置ABのみに W が働く変形設定が妥当なものであると考えられる。したがって、作用力（せん断力 W ）は加工方向に沿ったものとし、議論を容易にするために、作用位置を $x = L/4$ のKLに一様に働くものとして、Fig. 2 (b)の節点A、Bに各 $W/4$ を働かし、 W の大きさを便宜上1（ $\mu \text{ N/mm}$ ）とした。そして、中芯の $x = 0$ 、 $L/4$ の位置（Fig. 2 (b)のO、O'）の上下、左右の変位を零とした。

3. 解析結果

3.1 応力の分布状況

本有限要素解析によって各位置のKL、中芯の x および y 方向の垂直応力 σ_x および σ_y 、またせん断応力 τ_{xy} を求めた。その σ_x の全体的分布およびKL・中芯接合部付近（ $\Delta b = 0.3\text{mm}$ ）の分布の状況をFig. 3 (a)、(b)に、 σ_y および τ_{xy} の全体的および接合部付近の

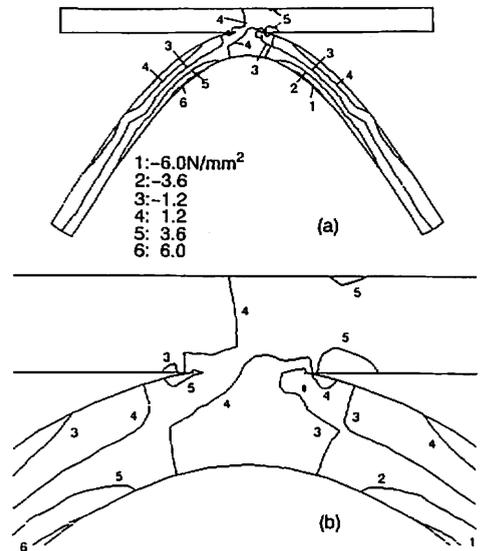


Fig. 3 Distribution patterns for normal stress σ_x of machine directions. Numerical values after number 1~6 represent stresses of unit N/m^2 .
(a) Pattern of fundamental range
(b) Pattern around KL-SCM joint

分布状況をFig. 4 (a)、(b)およびFig.5 (a)、(b)に示す。

Fig. 3 (a)、(b)より、KLの σ_x は、位置 $x = L/4$ 、 $t = -T_k/2$ 近くにある接合部端付近で最大、 $x = 7L/24$ 、 $t = T_k/2$ 付近で極大を示し、特に接合部の値が大きく、その位置を離れるにしたがって一定となるように分布する。このように、接合部接合点付近においては、一様に分布する前報²⁵⁾の結果とは異なることがわかる。接合部付近を除く域では、中芯の σ_x は、 $x = L/4$ を通る y 軸に平行な面（基準面）を基準として、近似的に反対称的に分布する。中芯の $|\sigma_x|$ は、図より、KLの際と同様に接合部端付近で大きく、その位置を離れるにしたがって順次減少し、 $x = 3L/16$ 、 $t = \pm T_k/2$ 付近で極大をとる分布を示す。特に、接合部端付近の $|\sigma_x|$ 値が顕著に大きい。中芯の厚さ中央の接線方向の向き θ

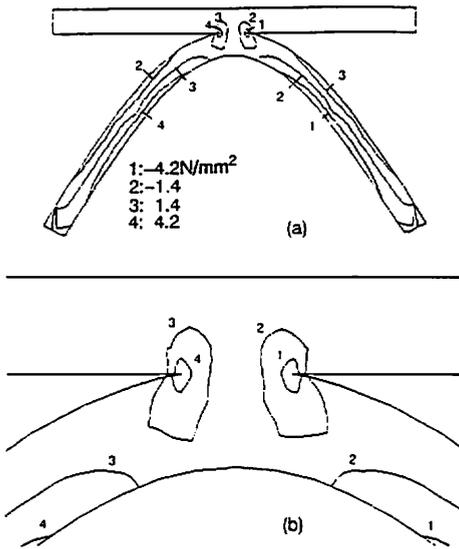


Fig. 4 Distribution patterns for normal stress σ_y of thickness directions. Numerical values after number 1~4 represent stresses of unit N/m^2 .
 (a) Pattern of fundamental range
 (b) Pattern around KL/SCM joint

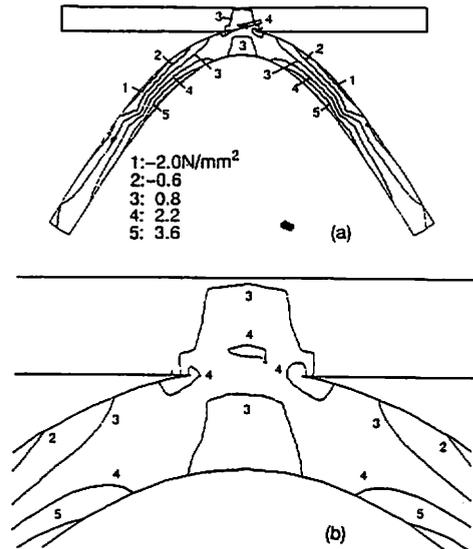


Fig. 5 Distribution patterns for shear stress τ_{xy} . Numerical values after number 1~5 represent stresses of unit N/m^2 .
 (a) Pattern of fundamental range
 (b) Pattern around KL/SCM joint

は零で加工方向と一致する。したがって、その位置付近の σ_x の値は前報²⁵⁾ の曲げ応力と等しいものと考えられる。一方、前報では $x = L/4$ 、 $t = -T_s/2$ で曲げ応力の絶対値が最大であるが、本結果では零に近い値である。このように、前報²⁵⁾ の結果とは、位置 $x = L/4$ の接合面から離れた位置 $t = -T_s/2$ 付近では、大きく異なることがわかる。

Fig. 4 (a)、(b) より、KL の σ_y は、接合部端付近で大きく、基準面に対し反対称的に分布することがわかる。そして、その端を離れるにしたがって零に近い値をとる。このように接合部端付近においては、前報²⁵⁾ の結果 ($\sigma_y \cong 0$) と異なることがわかる。中芯の $|\sigma_y|$ は、図より、接合部端付近で最大、そして $x = 3L/16$ 、 $t = \pm T_s/2$ 付近で極大を示し、その位置を離れるにしたがって順次減少することがわかる。中芯の厚さ中央の接線方

向の向き θ は零で加工方向と一致する。したがって、その位置の σ_y の値は、前報²⁵⁾ のように、零になることがわかる。

Fig. 5 (a)、(b) より、KL および中芯の τ_{xy} は基準面に対しほぼ対称的に分布することがわかる。KL の τ_{xy} は $x = L/4$ 近くの接合部端付近で大きく、その位置を離れるにしたがって零となるように分布する。このように接合部端付近においては、前報²⁵⁾ の結果と異なることがわかる。中芯の $|\tau_{xy}|$ は、図より、接合部端付近で最大となり、 $x = 3L/16$ 、 $t = \pm T_s/2$ で極大を示し、その位置から離れるにしたがって順次減少する。

中芯の厚さ中央の接線方向の向き θ は零で加工方向と一致し、 σ_x は前報²⁵⁾ の曲げ応力と一致するものと考えられ、その位置表面の σ_x の値は前報²⁵⁾ では絶対値が最大となるものと考えられる。しかし、本結果においては、前

報の曲げ応力の絶対値が最大であった位置 $x = L/4$ 、 $t = -T_s/2$ 付近では零に近い値である。

3.2 接合幅の影響

上述のように、段ボールの強度は、KLおよび中芯の素材ばかりでなく、KL・中芯の接合部の強度によって保持されている。したがって、この強度状況の議論を容易にするために、接合幅 Δb の所定の位置 Δx を

$$\Delta x = [x - L/4]$$

で示し、接合面の応力 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} と Δx との関係性を求めた。それらの関係を Fig. 6~8 に示す。

Fig. 6 および 7 より、 σ_x および σ_y は粗近似として基準面に対し反対称的に分布し、 $\Delta x = -0.5$ および 0.5 の位置の値は最大、最小となることがわかり、 Δb の増加によって σ_x および σ_y の絶対値は減少する傾向を示すことがわかる。

Fig. 8 より、 τ_{xy} は、粗近似として基準面に対し対称的に分布し、 $\Delta x = -0.5$ および 0.5

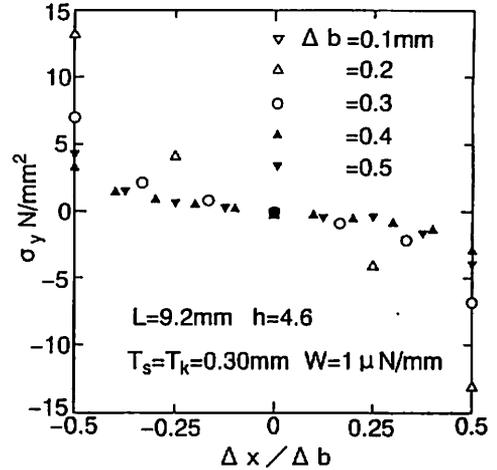


Fig. 7 Distributions of σ_y on joint plane

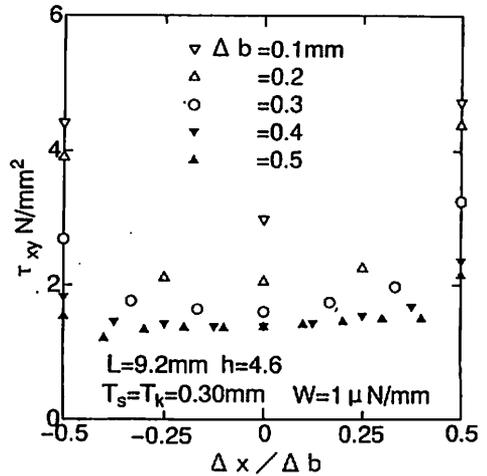


Fig. 8 Distributions of τ_{xy} on joint plane

付近で最大となることがわかり、 Δb の増加によって減少することがわかる。

4. 考 察

本計算値は、KLでは $x < L/4$ および接合部付近において、また中芯では $x = L/4$ 付近において、前報²⁵⁾ の計算結果と顕著に異なる。そこで、この件についての検討をおこない、次に曲げ近似計算の適用性を議論する。

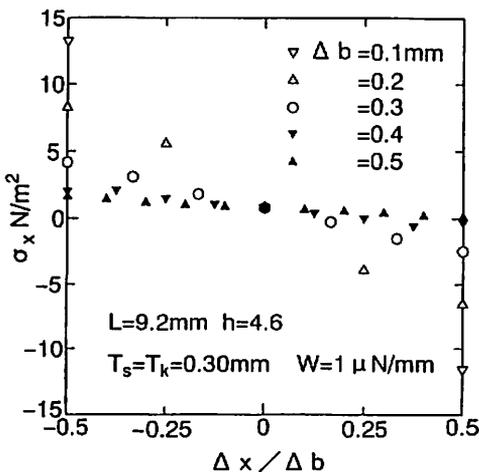


Fig. 6 Distributions of σ_x on joint plane

本計算時の作用力は、ずれ試験²²⁾の変形の適用条件に合わせ、 $x=L/4$ の位置のKLの厚さ中央に働かした。しかし、前報のずれ変形に関する作用力は $x=L/4$ の位置に働くものとし、前後位置の相違は考慮せずに計算処理をおこなった。したがって、これに近い変形議論として、作用力をFig. 2 (b)のABおよびCD位置に、同時に、 $W/2$ 働した際のずれ変形の検討をおこなう必要があると考えられる。そこで、このように、荷重を働かした際の有限要素法による解析をおこなった。その応力 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} の分布状況を示したものがFig. 9~11である。

同図に示すように、前章のものと異なり、KLの σ_x および σ_y は、基準面に対し反対称的に、 τ_{xy} は対称的に分布することがわかる。なお、接合部付近を除く域では、応力分布状況は前章のものとほぼ同様になることがわか

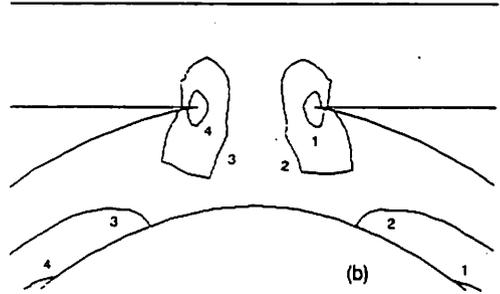
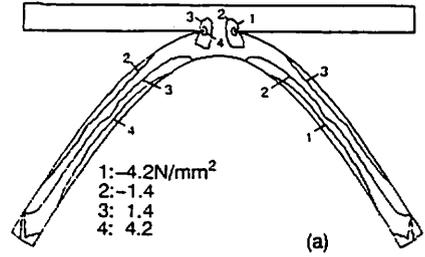


Fig. 10 Distribution patterns of σ , for both side loading. Numerical values after number 1~4 represent stresses of unit N/m^2 .
(a) Pattern of fundamental range
(b) Pattern around KL · SCM joint

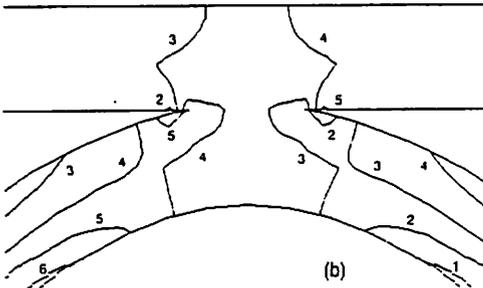
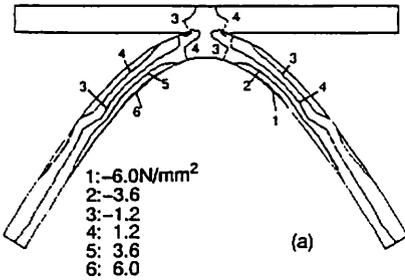


Fig. 9 Distribution patterns of σ , for both side loading. Numerical values after number 1~6 represent stresses of unit N/m^2 .
(a) Pattern of fundamental range
(b) Pattern around KL · SCM joint

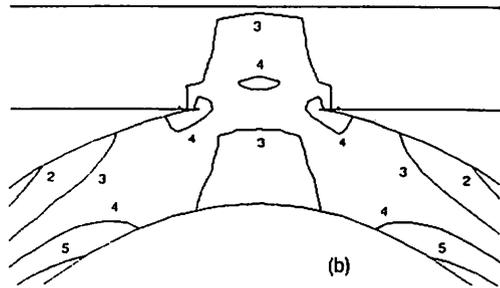
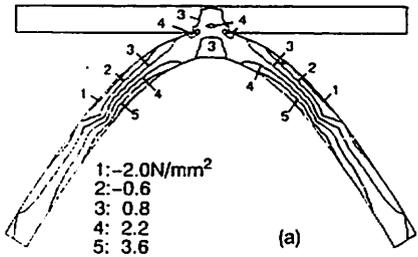


Fig. 11 Distribution patterns of τ_{xy} for both side loading. Numerical values after number 1~5 represent stresses of unit N/m^2 .
(a) Pattern of fundamental range
(b) Pattern around KL · SCM joint

る。また、同図より、中芯の諸応力分布も前章のものと類似することがわかる。

このような処理をおこなえば、 $x=L/4$ を離れた位置の σ_y および τ_{xy} の状態は前報の分布と類似するようである。しかし、 $x=L/4$ 付近の応力状況は類似しない。

そこで、前報の処方(付記1)から求めた中芯の曲げ応力 σ_s により、応力変換表示(付記2)に基づき、上下表面の σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} の値を求めた。それらの関係をFig. 12~14に示す。

図より、Fig. 2 (b)のAB、CD位置に等しく $W/2$ の作用力を働かす際、KLおよび中芯に生じる諸応力は、接合部付近を除く、大部分の域で、Fig. 9~11と同様な分布を示すが、本計算値は前報の値の数分の一程度に小さいことがわかる。

前報の計算は、はりの変形状況に合わせ、変形条件、すなわち接合部の加工方向の変位およびたわみ角が左右等しいとした条件の下でおこなった。そして、接合部では共に応力 σ_x 、 σ_y の絶対値が等しくなるが、符号は逆となり、大きな不連続的变化が生じ、力学的に

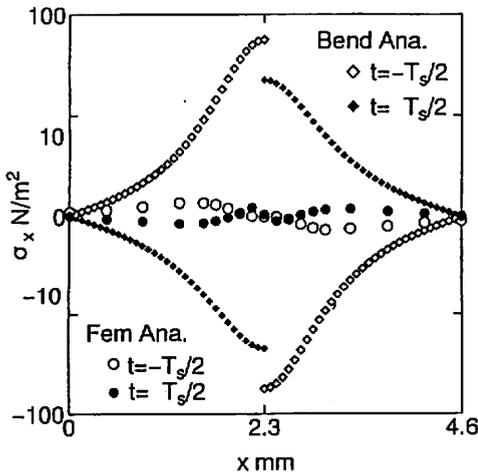


Fig. 12 Relationship between σ_x and position x of thickness position $t=\pm T_g/2$ for SCM

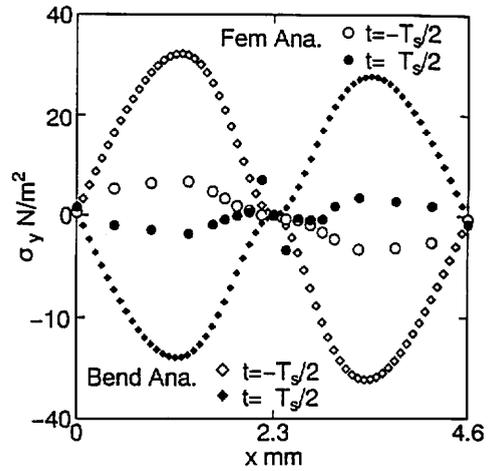


Fig. 13 Relationship between σ_y and position x of thickness position $t=\pm T_g/2$ for SCM

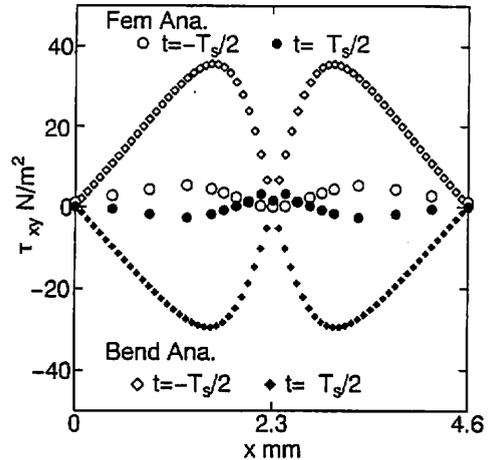


Fig. 14 Relationship between τ_{xy} and position x of thickness position $t=\pm T_g/2$ for SCM

必要な連続性は満たされていない結果が得られた。このように、中芯の $x=L/4$ 、 $t=-T_g/2$ の応力 σ_x が零となることは、その位置の左右の σ_x 値の符号が逆で、絶対値が等しくなることにより、生じたものと考えられる。したがって、このように、前報の数値が大きくなる要因は、この位置の σ_x および状態を示す設定にあるものと考えられる。

図より、 $x=0\sim L/8$ および $3L/8\sim L/2$

付近では諸応力の分布状態は比較的良好で前報の計算値と類似するが、接合部付近では大きな相違がある。特に、 σ_x は顕著である。外部からの作用力のない $x=L/4$ 、 $t=-T_s/2$ の位置付近では左右の σ_x は連続であり、前報のはり曲げ解析法によると左右の σ_x の絶対値は等しく、符号は逆である。このことより、その位置の応力は零であるような分布をとるはずである。しかし、このような計算処法を一般のはり曲げ解析法によっておこなうことは困難なようである。また、接合部付近では、サンブナンの原理により接合部から所定幅 T_s の域では応力集中による複雑な応力変化の影響が生じるものと考えられる。したがって、接合部における σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} の絶対値が大きくなることは、作用力の働きによって接合部に生じる応力集中に基づくものと考えられる。

本結果より、接合部で左右非対称的で不連続な変形が生じる際、はりの一般的な処方のみでは、十分な議論は困難であることがわかった。後日、この問題点をより詳細に検討し、その結果および対処法を報告したい。

勿論、要素の設定による誤差も相当大きく生じるものと考えられるが、本報告の諸結果は接合部の強度を議論するための価値ある一つの指針を示すものとみなせる。したがって、本結果は段ボールの強度および加工設定上、意義あるものと考えられる。

5. 結 言

両面段ボール (KL および中芯の厚さ 0.3 mm、中芯の波長 $L = 9.2$ mm、波高 $h = 4.6$ mm) の両クラフト・ライナー (KL) にせん

断力が働く際の応力状況を明らかにするために、有限要素法により、KL にせん断力が働く際の KL および中芯の応力を明らかにした。そして、KL および中芯の応力分布状況を議論した。その結果、以下のようなことが明らかになった。

(1) KL および中芯の流れおよび厚さ方向の垂直応力 σ_x および σ_y の最大値は KL・中芯接合部端付近に生じる。接合部を離れた中芯の応力 σ_x および σ_y は接合部中央を通る流れ方向を横切る面に対し、反対称的に分布する。中芯の σ_x および σ_y の極値は接合部中央から加工方向に約 $\pm L/16$ 離れた位置の内外の表面部に生じる。

(2) 中芯の流れ方向および段ボール厚さ方向のせん断応力 τ_{xy} の絶対値の最大値は、 σ_x の際と同様に、中芯接合部端付近に生じる。

接合部を離れた中芯の τ_{xy} の絶対値は、 σ_x の際と同様に、接合部中央から加工方向に約 $\pm L/16$ 離れた位置の内外の表面部に生じ、その応力は接合部中央を通る流れ方向を横切る面に対称的に分布する。

(3) 接合部の各応力成分の絶対値は接合部中央では小さく、その面端では非常に大きく生じる。

(4) 接合部の各応力成分の絶対値は接合幅の増加に伴い減少する傾向を示す。

(5) 接合部から $\pm L/10$ の範囲を除く、大部分の域では、各応力成分の分布状況は、はりの曲げ変形解析法により求めたものに類似するが、それらの値ははり曲げ解析法の計算値の数分の一程度になり、合致しない。また、本解析の σ_x は接合部中央の中芯表面では零であるが、曲げ解析法による $|\sigma_x|$ の最大値は接合部中央の表面にあり、その符号は左右

逆向きであった。このことより、接合部中央における応力分布状況をはりの曲げ変形解析法のみでは、接合部の絶対値の大きな逆向きに配置する両側の曲げ応力を合わせ、その和が零となる計算処方を議論することはできないものと考えられる。

せん断変形を受ける段ボールの応力状況についての基礎的な議論はいまだなされていない。したがって、本研究は、せん断変形を受ける段ボール板の応力解析をおこない、その強度を議論したもので、その結果は、段ボールの強度設定に当たり、有意義な資料となるものと考えられる。

<引用文献>

- 1) たとえば、段ボール実用百科編集委員会、“段ボール実用百科”、一律書房、p.21 (1970)
- 2) レンゴー株式会社、“段ボール技術”、包装新聞社、p.16 (1971)
- 3) たとえば、渋谷巖、航空学会誌、7 (61), 393 (1940)、8 (71), 267 (1941)。林、航空学会誌、8 (79), 1131 (1941)
- 4) たとえば、1) のp.537 ; (2) のp.310
- 5) J. W. Koning Jr. and R. Stern, Tappi, 60 (12), 128 (1977)
- 6) たとえば、1) のp.548 ; (2) のp.316
- 7) たとえば、紙業タイムス社、“新・紙加工便覧”、紙業タイムス社、p.797 (1980)
- 8) G. G. Maltenfort, Tappi, 53 (11), 1076 (1970)。P. Grartaganis, Tappi, 58 (11), 102 (1975)。R. M. Morris Jr. and G. P. Vallow, Tappi, 58 (11), 110 (1975)
- 9) 石測浩、木村稔、吉沢昭宣、佐久田博司、機論、59 (A557), 156 (1993)
- 10) 松島成夫、奥田隆宏、宮内治、野沢光治、紙パ技協誌、36 (3), 377 (1982)
- 11) S. P. Timoshenko and S. Woinowsky, Krieger, “Theory of Plates and Shells”, McGraw-Hill Co., p.366 (1959)
- 12) 松島成夫、矢野忠、松島晟、紙パ技協誌、42 (5), 480 (1988)
- 13) 松島成夫、矢野忠、松島晟、紙パ技協誌、43 (6), 602 (1989)
- 14) 松島成夫、矢野忠、松島晟、紙パ技協誌、44 (5), 605 (1990)
- 15) 松島成夫、矢野忠、上田康、松島理、紙パ技協誌、47 (10), 1263 (1993)。松島理、松島成夫、矢野忠、紙パ技協誌、48 (8), 1068 (1994)。松島理、松島成夫、日本包装学会誌、5 (2), 107 (1996)
- 16) 松島成夫、矢野忠、松島晟、横田俊昭、紙パ技協誌、47 (4), 517 (1993)
- 17) 松島成夫、矢野忠、松島晟、横田俊昭、紙パ技協誌、45 (4), 480 (1991)
- 18) 松島成夫、矢野忠、松島晟、横田俊昭、紙パ技協誌、46 (5), 668 (1992)
- 19) 松島理、松島成夫、機論、60 (A576), 2000 (1994)
- 20) 松島理、松島成夫、機論、61 (A587), 1601 (1995)、松島理、松島成夫、紙パ技協誌、50 (9), 1299 (1996)
- 21) Satoru Matsushima and Shigeo. Matsushima, Jpn. J. Appl. Phys. 35 (2A), 783 (1996)
- 22) たとえば、紙パルプ協会編、“紙パルプの種類とその試験法、紙パルプ協会”、p.381 (1986)
- 23) 松島理、松島成夫、紙パ技協誌、50 (4), 707 (1996)
- 24) 松島理、松島成夫、日本包装学会誌、5 (3), 211 (1996)
- 25) 松島理、松島成夫、紙パ技協誌、51 (3), (1997)

掲載予定

- 26) たとえば、紙業タイムス社編、“新・紙加工便覧”、
紙業タイムス社、p.789 (1980)
- 27) Alean R. Jones, Tappi, 51 (5), 203 (1968)
- 28) 1) の p.126

り、 N_{s1} および M_{s1} は軸力およびモーメントで

$$N_{s1} = (W/2) \cos \theta$$

$$M_{s1} = (W/2) y_0$$

である。

付記1) $x = 0 \sim L/4$ の域の中芯の曲げ応力 σ_{s1} は

$$\sigma_{s1} = \frac{1}{T_s} \left[N_{s1} + \frac{M_{s1}}{\rho} \left(1 + \frac{1}{k} \frac{t}{\rho + t} \right) \right]$$

で表される。ただし、 ρ は y_0 の曲率半径であ

付記2) 中芯表面の σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} と中芯の曲げ応力 σ_{s1} との関係は

$$\sigma_x = \sigma_{s1} \cos^2 \theta$$

$$\sigma_y = \sigma_{s1} \sin^2 \theta$$

$$\tau_{xy} = \sigma_{s1} \sin \theta \cos \theta$$

で表される。

(原稿受付 1996年12月12日)

(審査受理 1997年2月12日)

◀新刊書紹介▶

「金属のポリマーコート」

(社) 表面技術協会 編

本書は、金属素材の段階で、塗膜や高分子薄膜が素材表面に被覆され、多様な用途に活用される、いわゆるプレコートあるいはプレラミネート材料に関して、平滑かつ体系的に記述された技術解説書である。構成は、基礎編と応用編に分かれており、次の10章からなる。

基礎編：1. はじめに (ポリマーコート技術の歴史的背景) / 2. 金属基材 / 3. ポリマーコート素材 / 4. 被覆工程および設備 / 5. ポリマーコート材の評価 / 6. 機能性ポリマーコートの動向と課題

応用編：7. 建築内外装材 / 8. 電気製品類 / 9. 食品用金属容器 (金属缶) / 10. 注目される機能性ポリマーコート技術および高機能材料

金属材料を使用した包装材料としては、金属缶、アルミ箔やスチール箔とプラスチックのラミネートシートから成形された容器、アルミ箔とプラスチックのラミネートフィルムのパウチや蓋材などがある。このような金属材料を用いた容器を開発する場合、ポリマーコートやラミネート技術は非常に重要であるが、本書の基礎編では、コーティング材料以外にラミネート用プラスチックフィルム材料に関する解説もなされている。また、食品用容器の場合、保存試験による機能性評価が重要であるが、本書の5章では、各種の評価試験方法が述べられている。応用編の金属缶の章では、金属缶全般の解説に加え、最近急増しつつあるポリエステルラミネート缶などの新しい技術についても詳細に記述されている。このように、本書は、金属材料とポリマー材料との複合材料に関係する技術者にとっての座右の技術説明書として高く評価される。

1996年11月刊

A5版 / 266頁 / 定価 4,725円

ISBN 4-8375-0642-9 C3053

横書店 (TEL. 03-3281-3608)