

アルミニウム・圧縮木材ハイブリッド複合部材の開発と塑性加工

東京都立工業高等専門学校 機械工学科
 講師 長谷川収
 (平成 14 年度研究開発助成 AF-2002017)

キーワード: アルミニウム板材・圧縮木材ハイブリッド複合部材, 曲げ強度, 破壊エネルギー吸収能

1. 研究目的と背景

わが国は世界有数の森林資源を持つが, 木材の有効利用がなされているとは言い難く, 80%は外国産材が用いられている¹⁾. 木材は, 工業用材料としては強度や表面硬度が低く, 寸法精度も得にくいためにその地位を失っていたが, 近年, 人に優しい素材として土木, 建築, 機械の分野で木材を利用する動きが高まってきている.

既往の研究では, スギ材の圧縮率が 50%のときの曲げ強度は, 未圧縮材に比べると 1.5~2 倍に達し, 含水率が高いほど圧縮に要するエネルギーが小さくてすむこと²⁾, A6063-T5 押出し角管に圧縮率が 50%のスギ材を充てんして曲げると, 充てんしない中空管に比べ, 曲げ強度, 変形エネルギーが大幅に増し, また角管による拘束が, 木材の繊維に平行に生じるき裂の進展を遅らせることなどが明らかになっている³⁾.

本研究では, 木材を圧縮塑性加工することで構造材としての強度, 硬さを向上させると同時に, アルミニウム板材と複合することで木材の脆さを改善し, 曲げにおける強度や破壊エネルギー吸収能の向上を図ることを目的として, それらの評価を行った.

2. 材料の製作と実験方法

2.1 アルミニウム板材・木材ハイブリッド複合材用の製造

使用した木材は奥多摩産のスギ辺材で, 横断面は 40mm×20mm, 長さ 300mm で, 複合するアルミニウム合金板は A6061-T4, 幅 20mm, 板厚 1mm, 長さ 300mm である.

木材は 80 °C で 30 分煮沸して可塑性し, プレス機で高さが 1/2 ないし 1/3 になるまで板目面方向に圧縮する (図 1). この圧縮率 (CR) を 0.5, 0.67 と表す. さらに, 金型に入れたまま 180 °C で 60 分, 炉内で乾燥する. 比較のため, 未圧縮材 (CR=0) も用意した.

これらの木材の圧縮面に, 接着剤 (ハードロック M-372-20) を用い, 上記のアルミニウム合金板材を表 1

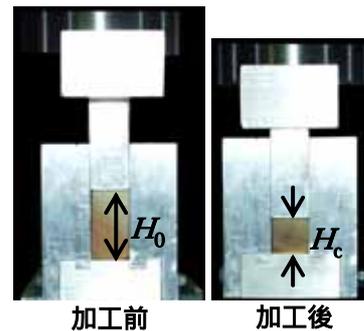


図1 圧縮加工前後の木材横断面と金型

表 1 横断面で見た曲げ試験用供試材の種類

n	0	1	2
CR			
0	Load	A6061-T4 sheet	A6061-T4 sheet
0.5			
0.67			

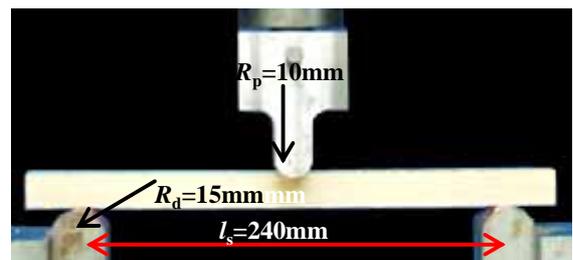


図2 曲げ試験概観

に示すように、1枚ないし2枚接着した。比較のため、接着しない木材も用意した。これらの接着枚数を n で表すこととする ($n=0, 1, 2$)。

2.2 強度評価試験方法

木材は圧縮や曲げモーメントを受ける状態で使用されることが多い。そこで、本研究では3点曲げによって強度評価を行った。試験装置の外観および寸法を図2に示す。曲げ荷重の方向は表1に示す方向である。曲げ荷重 P [kN]とパンチ押し込み量 S_f [mm]を測定し、荷重-ストローク線図を作成した。最大荷重を P_{max} とすると、最大曲げ応力 σ_{max} を次の式で定義する。

$$\sigma_{max} = P_{max} l_s / 4Z \quad \times 10^3 \text{ [MPa]} \quad \dots (1)$$

また、曲げの際の吸収エネルギー U [J]は、破壊に至るまでの荷重-ストローク曲線下の領域の面積とする。

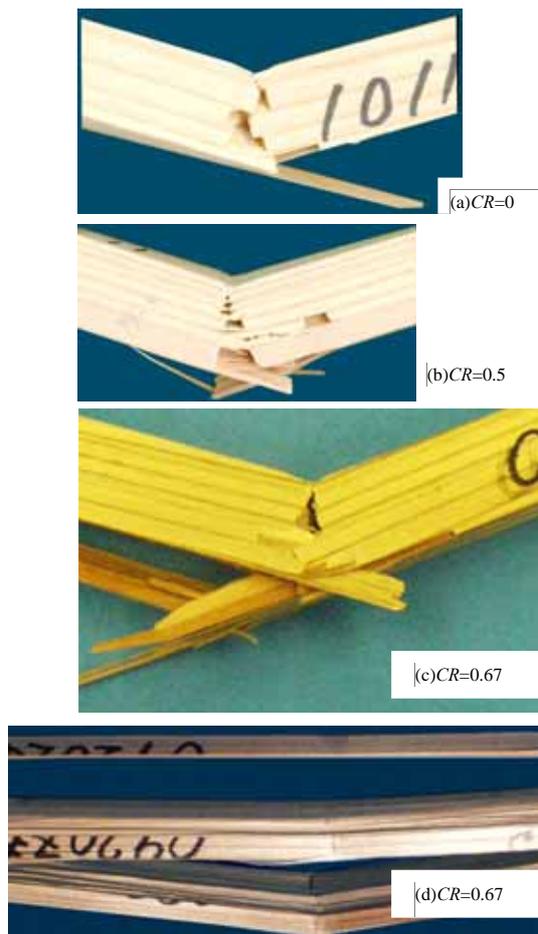


図3 アルミニウム板を接着しない場合の破壊形態
(a)未圧縮、(b)圧縮率 0.5、(c)圧縮率 0.67、中央部、高さ方向に亀裂が進展した例、(d) 圧縮率 0.67、早い時期から層間はく離が発生した例

3.1 破壊形態に及ぼすアルミニウム板の影響

図3は、アルミニウム合金板材を接着しない場合 ($n=0$)の試験片の破壊形態を示す。この場合は、引張側外表面から層間はく離が生じる。なお、(c)や(d)のように圧縮率が高くなると、層間はく離が著しくなり、特に(d)などは、曲げの早い時期からはく離が生じた例である。一方、アルミニウム板を接着した場合 ($n=1,2$)には層間はく離は生じにくい(図4、図5)。接着されたアルミニウム板がはがれる際に、木材は局部的に折れるように破壊する。例えば、図4(c)、図5に示すような状態である。

図5(b)、及び(c)は、 $n=2$ で圧縮側のアルミニウム板がはがれた例であるが、引張側のアルミニウム板がはがれた場合も、木材の破壊形態に差異はない。

3.2 荷重-ストローク曲線と破壊形態の関連

3.1で述べた層間はく離が急速に進展するような場合、すなわちアルミニウム合金板材を接着しない場合 ($n=0$)は曲げ応力の低下も速く、脆性的な破壊である(図6(a))。また、圧縮材は年輪数が多く、層間はく離

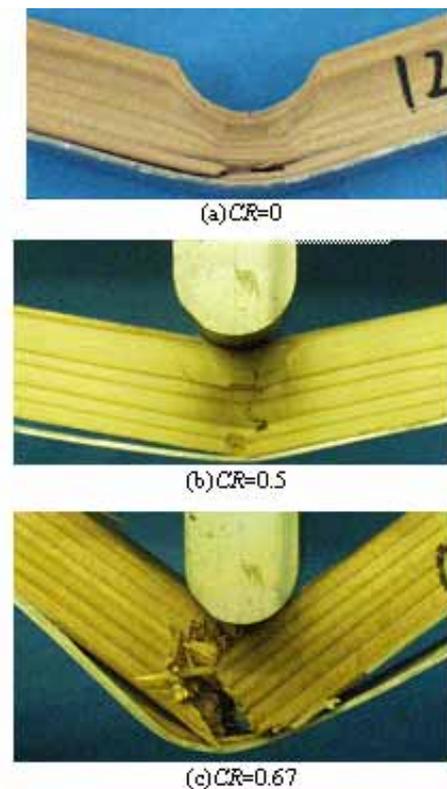


図4 引張側のみにアルミニウム板を接着

図4 引張側のみにアルミニウム板を接着した場合の破壊形態

(a)未圧縮、(b)圧縮率 0.5、(c)圧縮率 0.67

をそれだけ多くの箇所でも発生しながら破壊が進むので、曲げ応力が段階的に低下していき、結果的にパンチ押し込み量、すなわち変形量を増大させている。

一方、アルミニウム板を接着した場合 ($n=1,2$) には、荷重が低下するまでのパンチ押し込み量が特に増大し、吸収エネルギーも大きいことがわかる (図 6(b),(c))。

なお、未圧縮材は圧縮材に比べ、なだらかな曲げ応力の低下がみられるが、これは圧縮加工中に生ずる木材内部の損傷がないためと考えられる。ただし、圧縮材に対して木材自体の強度が低いため、パンチの押し込みによって高さ方向の潰れが生じやすいため、パンチ押し込み量は見かけ上大きく評価しているという問題点は含んでいる。

3.3 圧縮率およびアルミニウム板が吸収エネルギーに及ぼす影響

図 6 中の表に示したように、 $n=0, 1, 2$ いずれの場合においても、圧縮率が高いほど吸収エネルギーの平均値は高くなった。例えば、引張側にアルミニウム板を接着した場合、吸収エネルギーとパンチ押し込み量は、未圧縮材では、それぞれ 5 倍、3.2 倍、1/3 圧縮材 ($CR=0.67$) では、それぞれが 2.8 倍、2.5 倍となった。

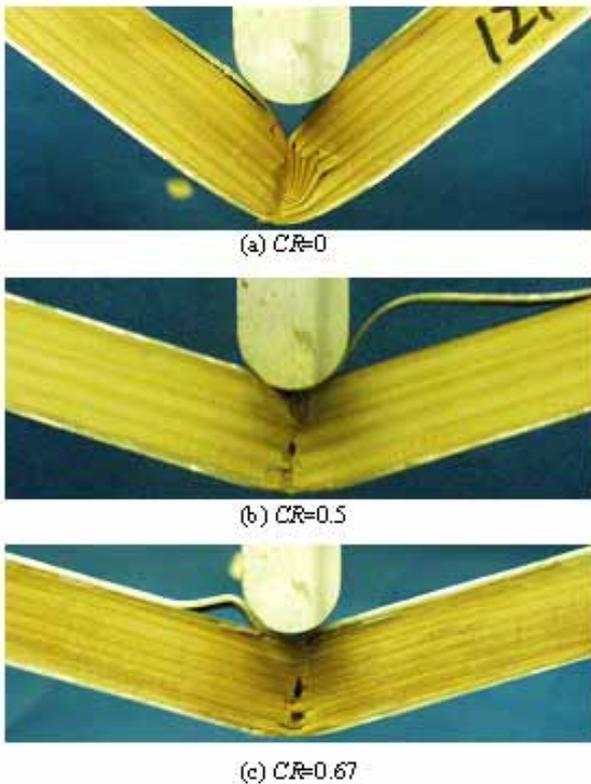


図 5 引張・圧縮両面にアルミニウム板を接着した場合の破壊形態 (a)未圧縮, (b)圧縮率 0.5, (c)圧縮率 0.67

また、圧縮側に接着したアルミニウム板の効果は小さかった。

3.4 圧縮率およびアルミニウム板が最大曲げ応力に及ぼす影響

図 7 から、最大曲げ応力は圧縮率と正の相関があることがわかる。図 7(a)に示したように、アルミニウム合金板材を接着しない場合は、未圧縮材本来の強度が低いためにその差が顕著で、未圧縮材に比べ、1/3 圧縮材 ($CR=0.67$) は曲げ強度が最大で 2.5 倍に向上した。

一方、複合するアルミニウム合金板の影響としては、接着されていない木材よりも、接着された木材の方が

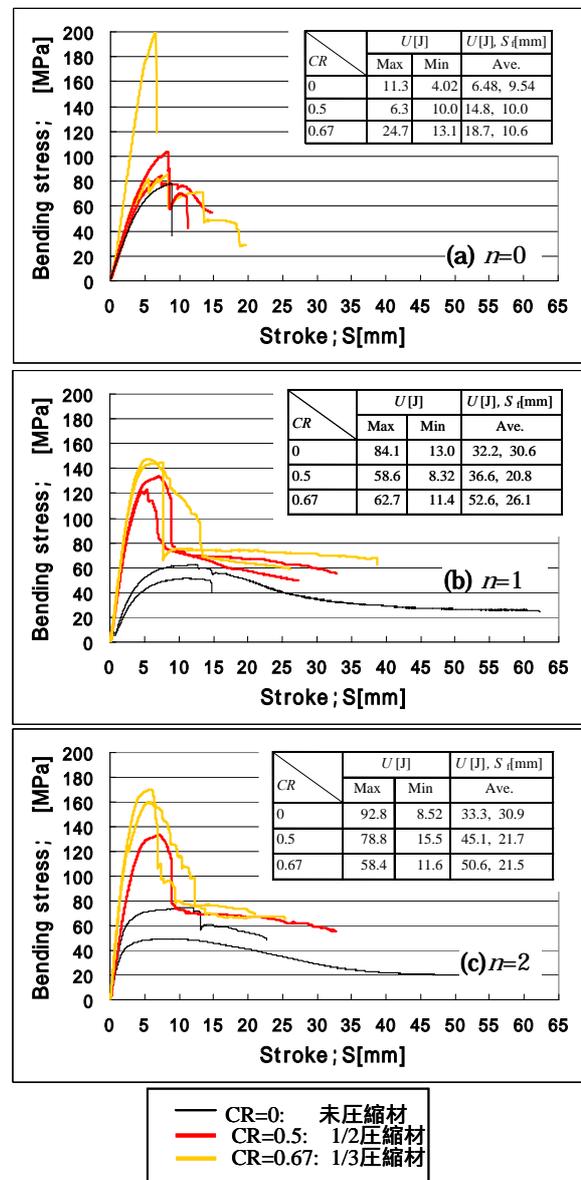


図 6 接着するアルミニウム板の数と、木材の圧縮率の違いにおける曲げ応力 パンチストローク曲線

1.2 倍程度，曲げ強度が高いことがわかった．また，アルミニウム合金板を圧縮側に接着する効果は小さいといえる（図 7(b)，(c)）．

4．まとめ

本実験に用いたスギ材は，未加工の状態では急速に進展する層間にはく離を生じやすいが，圧縮加工したり，アルミニウム板を複合することにより，次のような効果が得られた．

(1) 木材の圧縮率が高いほど曲げ強度が向上し，吸収エネルギーも増大する．

(2) 引張側にアルミニウム合金板材を接着すると層間にはく離の発生が遅れるため，荷重が大幅に低下するまでのパンチ押込み量が増加し，吸収エネルギーも増大する．

5．謝辞

本研究に対し，助成いただいた（財）天田金属加工機械技術振興財団に厚く感謝申し上げます．

参考文献

- 1) 林野庁：林業白書(2000)，日本林業協会．
- 2) 浅葉将之，西村尚：機論 A，67-654(2001),83.
- 3) 林進，西村尚：機論 A，67-656(2001),163.

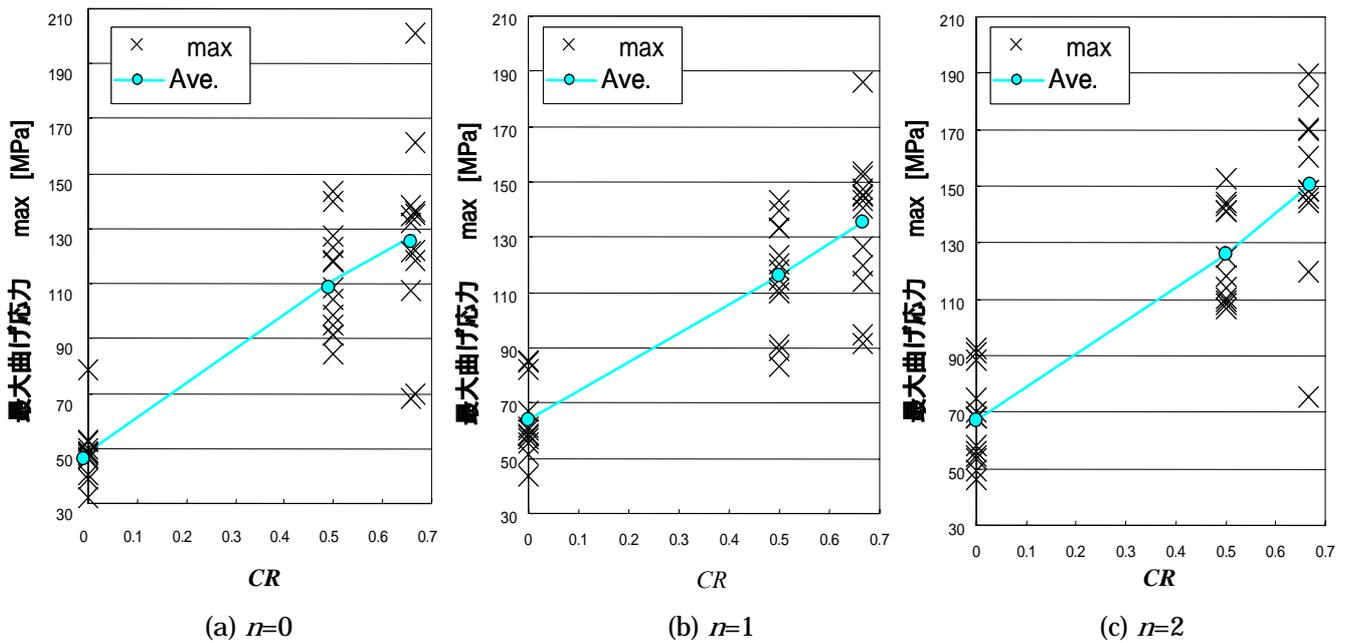


図7 接着するアルミニウム板数の違いによる，木材の圧縮率が最大曲げ応力に及ぼす影響