

金属—木材合板に関する研究

第1報 鉄—木材合板の強さ

藤野 清久^{*}・堀野 恒雄^{*}

Kiyohisa FUJINO and Tsuneo HORINO : Studies on Metal-wood Plyplate,
I. Strength of Iron-wood Plyplate.

I. 前 書 き

合板の1種として木板の両面に鋼の薄板を貼合した鉄—木材合板は、価格の低廉と強さの大きい点で賞揚せられ、屋根、建物の外装、車輛の壁板、戸外の立看板或は工場建築設備用材として用いられる。

このような貼合せ材を構造部分に用いるときにはその機械的性質、特に使用時の許容限界が明かにされなければならない。現在そのような資料に乏しいから、彎曲に対する強さに関して実験と計算とに基づいて上記貼合せ材の使用条件を求めた。

II. 基 礎 式

貼合せ材の曲げに対しては、直断面は梁が曲つた時も平面を保ち、且つ中立面に直交するとの通常用いられている簡単な曲げ条件に従うものとする。

さて中立軸の彎曲の半径を ρ とし、中立軸から任意の垂直距離を η 、その位置の曲げ歪みを ϵ 、曲げ応力を σ とする。又部材の縦弾性係数を E とし、(引張圧縮共に等値) 以上何れのものも特に選んだ一つを一般に i の記号を用いて区別する。各部材の弾性限度以内に於ては次の関係が成立つ。

$$-\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon}{\eta} = \frac{\sigma}{E\eta} = \frac{\sigma i}{Ei\eta i} \dots\dots\dots(1)$$

また

$$M = \sum \int \sigma \eta \alpha A = -\frac{1}{\rho} \sum (EI) \quad (A \text{ は面積})$$

であるから、

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{\sum(EI)} \dots\dots\dots(2)$$

但し x は梁の軸方向にとつた長さ、 y は x の位置に於ける撓み、 I は部材断面の中立軸に対する二次モーメントである。

(1)及び(2)式を組合せて、

^{*} 京大工学部繊維化学教室

$$M = \frac{\sigma_i}{\eta_i} \frac{\Sigma(EI)}{E_i} \dots\dots\dots(3)$$

次に接着面の剪断応力 τ については、梁の長さ dx 間の力の平衡から、

$$\tau B dx = \Sigma \int d\sigma dA$$

但し B は断面の中又右辺は接着面より外側に存在する部材の総和を表わし、 $d\sigma$ は dx 隔つた断面間の応力差で x のみの函数である。(1)式から、

$$d\sigma = \frac{d\sigma_i}{E_i \eta_i} E \eta$$

従つて、

$$\tau B dx = \frac{d\sigma_i}{E_i \eta_i} \Sigma (E \eta \alpha A)$$

$$\tau = \frac{1}{B} \frac{1}{E_i \eta_i} \frac{d\sigma_i}{\alpha x} \Sigma (E \eta dA)$$

(3)式から、

$$\frac{dM}{dx} = \frac{d\sigma_i}{dx} \frac{\Sigma(EI)}{E_i \eta_i} = F$$

F は x に於ける剪断力を表わす。これを前式に代入すると、

$$\tau = \frac{F \Sigma(E \eta \int dA)}{B \Sigma(EI)} \dots\dots\dots(4)$$

Ⅲ. 実 験

(i) 試 料

木部は均整度を高めるためにブナの単板5枚を積層接着した厚さ $H =$ 約5 mm の合板を用いた。その上下両面に軟鋼の薄板(厚さ h は種々異つたものを使用)を接着剤を以て貼合せた。

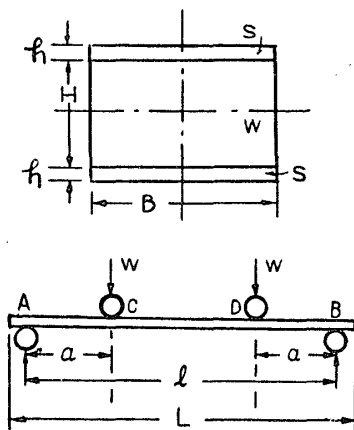
このような貼合せ材から巾 $B = 20$ mm, 長さ $L = 200$ mm の試験片を製作した。

接着は鋼板に予めパーカライズングを施した後木板と重ね合わせ、接着剤には石炭酸、ホルマリン、シエラックで合成した樹脂を用いて、温度 130°C ., 圧力 60kg/cm^2 の下で硬化接着した。

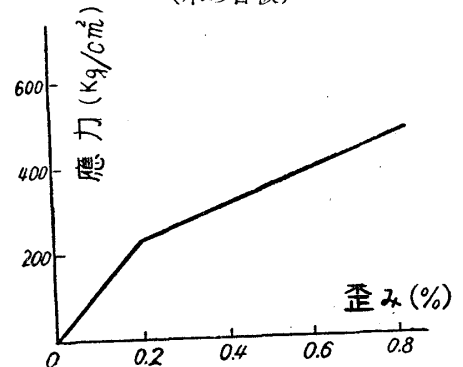
木の合板は縦弾性係数、 $E_w = 1.14 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 比例限度は約 220 kg/cm^2 , 相当する歪みは 0.2% と見做し得る。その応力歪み線図を第2図に示した。

鋼板の縦弾性係数は、 $E_s = 1.9 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

第1図



第2図
(木の合板)



cm³, 降伏値は約 2,000 kg/cm², 相当する歪みは 0.1%である。

(2) 試験法

試験片の曲げ試験は第1図に示す如く, 支点及び荷重点にはそれぞれ直径 15 mm のローラを置き両端支持, 左右対称の2点荷重の条件の下に行つた。

但し $l=170\text{mm}$, $a=35\text{mm}$ である。

試験はアムスラー万能試験機容量 1t を用い, 負荷と共に荷重点 C に於ける撓みをダイヤルゲージを以つて測定した。

この場合荷重点の撓みは,

$$\delta = (y_c) = - \frac{Mca}{\sigma \Sigma(EI)} (3l - 4a) \dots \dots \dots (5)$$

$$M_c = W \cdot a$$

弾性限度以内に於ては C 点の曲げモーメントと撓みとが比例する。このことは第4及び5図に於ても認められ, 実験的にも成立つ。

(3) 測定結果

試験片の作製に当り木の合板の寸法には多少の不動を避ける事が出来なかつた。試験片の各寸法と C 点に於ける曲げモーメントと撓みとの実測値を表に示した。

試料番号	鋼板厚 h (mm)	木合板厚 H (mm)	巾 (B) mm	撓み 1/100 (mm)						
				曲げモーメント (kg · cm)						
				0	35	70	105	140	175	
A 1	0.38	4.7	21.0	0	48	96	188	315	—	剝離
A 2	"	4.8	21.0	0	48	89	141	300	634	
A 3	"	5.2	21.4	0	33	65	109	197	327	
A 4	"	5.1	20.4	0	40	84	181	377	281	
A 5	"	5.5	20.7	0	34	71	135	276	453	
A 6	"	5.5	20.5	0	38	76	153	298	441	
A 7	"	5.4	20.2	0	35	65	96	199	380	
B 1	0.26	5.1	21.0	0	51	104	761	489	725	剝離
B 2	"	5.3	21.0	0	53	109	262	498	—	
B 3	"	5.5	21.0	0	49	104	220	—	—	
B 4	"	5.1	21.0	0	52	105	230	403	589	
B 5	"	5.2	20.1	0	47	94	177	352	544	
B 6	"	5.2	21.0	0	50	98	186	318	458	
B 7	"	5.0	21.2	0	54	108	784	490	718	

木の合板 (厚さ $H=5\text{ mm}$) のみのモーメント-撓み線図を第 3 図に、又上表の貼合せ材のモーメント-撓み線図を第 4 及び 5 図に示した。図の○印は鋼板が降伏を始める位置を示したもので、原点からこの位置までは(5)式によく一致している。

Ⅲ. 貼合せ材の破壊と使用限度

上記の如き貼合せ材が曲げ作用を受けたとき外層にある鋼板に大きな応力を生じて非常に大きな曲げ抵抗を表わすことが貼合せ材の特徴である。

しかし彎曲が増加したときには外層鋼板の外皮が先ず降伏値に達し、内層の木部は中々降伏を起さないことは、外層より内層の方が歪みが小さいことと、木の方が鋼よりも降伏値に達するまでの歪みが遙かに大きいことの二点から容易に了解することが出来る。従つて鋼の外皮が最初降伏値に達した時を以つて貼合せ材の破壊の始まりと考へてよいであろう。この場合になお、木部と鋼板との接着面の破壊をも考慮しなければならない。即ち若しその接着面の剪断抵抗が小さければ、鋼板が降伏を起す前に接着面が剝離して貼合せ材の破壊が起るからである。しかし接着力が十分大きい場合には鋼板が降伏した後も剝離はおこらないで、上記の如く鋼板が降伏しはじめる瞬間を貼合せ材の破壊開始の時期と看做し得るわけである。この意味で貼合せ材の破壊としては、鋼板の降伏と接着面の剝離との相互の関係を明らかにして決める必要がある。

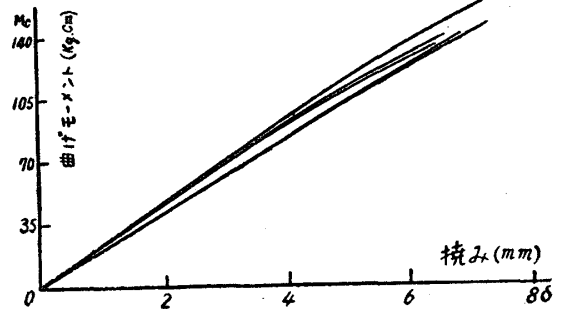
(1) 鋼板の降伏

外層鋼板が降伏を起す時期は、(3)式に実験条件を当嵌めると、

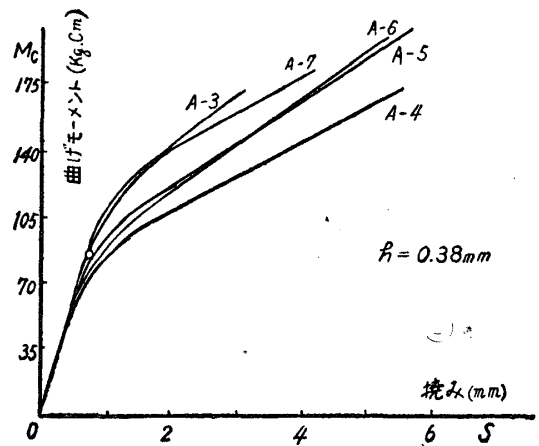
$$\eta_i = H/2 + h, \quad E_i = E_s, \quad \sigma_i = \sigma_s$$

$$\Sigma (EI) = E_w I_w + 2 E_s I_s$$

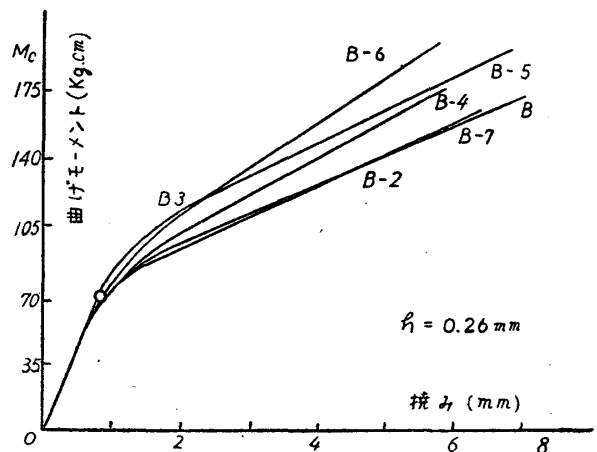
第 3 図



第 4 図 (貼合せ)



第 5 図 (貼合せ材)



但し I_w, I_s は鋼板及び木部の断面の中立軸に対する2次モーメントを表わす。

$$M = \frac{\sigma_s(E_w I_w + 2 E_s I_s)}{E_s(H/2 + h)}$$

$$= \frac{\sigma_s B}{E_s(\frac{H}{2} + h)} \left\{ E_w \frac{H^3}{12} + E_s \left(\frac{2h^3}{3} + Hh^2 + \frac{hH^2}{2} \right) \right\} \dots\dots\dots(7)$$

となる。この式に於て鋼の応力が降伏値 $\sigma_s = 2,000 \text{ kg/cm}^2$ に達するときの曲げモーメント M が危険断面に於ける破壊の始まりとなる。その値は鋼板の厚さによつて異なる。いま $B=20\text{mm}$, $H=5\text{mm}$ としたとき、鋼板の厚さ h によつて破壊曲げモーメントが変る状態を第6図に示した(実線を以て表わす)。

又第4及び5図に示された○印は降伏による貼合せ材の破壊開始点を表わす。

(2) 接着面の剝離

鋼板と木部との接着面に起る剪断応力は、(5)式に実験条件を当嵌めると、

$$\tau = \frac{F(H+h)hE_s}{2(E_w I_w + 2E_s I_s)}$$

鋼板外皮の応力を式中に導入するために、

$$F = \frac{M}{a} = \frac{\sigma_s(E_w I_w + 2E_s I_s)}{E_s(\frac{H}{2} + h)}$$

を代入すれば、

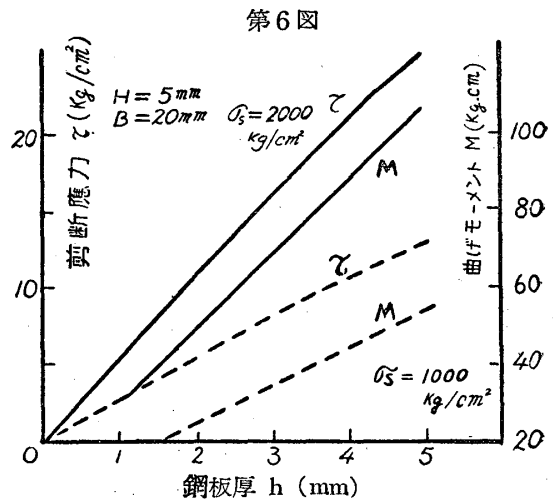
$$\tau = \frac{\sigma_s(H+h)h}{a(H+2h)} \dots\dots\dots(8)$$

となる。鋼板の外皮応力が σ_s であるときの接着面に起る剪断応力を表わす。この値も亦鋼板厚によつて異なるから、一例として $H=5\text{mm}$ として h を種々変えたときの剪断応力の変化を第6図に併せ示した(τ 実線)。

本実験に用いた接着方法では接着強度(剪断)は約 20 kg/cm^2 であるから、鋼板の厚さ 0.26 及び 0.38 mm の試験では鋼板が降伏点に達するまでに剝離が起ることは皆無であつた。しかし降伏点を過ぎて彎曲を増したときには、剝離するものが僅かあつた。その他は試験片の荷重点に於て 3 mm の撓みを起さしめて荷重を取除いた後も剝離が現われなかつた。この場合には外層の鋼板の永久歪みが撓みの回復を妨げるから、除荷重の後まで梁は彎曲したまゝの状態を保つてゐる。

(3) 使用限界

いままでのべた所はすべて鋼板の降伏値を基にして論じたものであるが、貼合せ材の実際使用



に当つては安全率を考慮に入れる必要がある。この場合は前述のものと同じ理由に従つて鋼の許容応力を基準にとるならば、使用限界を次のように決める事が出来る。いま軟鋼の許容応力として $\sigma_s = 1000 \text{ kg/cm}^2$ をとれば(7)式にこの数値を入れる事によつて、曲げモーメントの使用限界が決定せられる。第6図に $\sigma_s = 1000 \text{ kg/cm}^2$ に対する M-h 線図 (M点線) を併せ示した。これは各鋼板厚に対する曲げモーメントの使用限界を表わしたものである。

又同様に τ -h 線図 (τ 点線) は限界モーメントに相当する接着応力を示したものである。その数値は比較的小さいから、如上の接着方法を用いたときには十分安全で、鋼板と木部とが剝離して破壊することには考慮する必要がないという事が出来る。

V. 鋼板の降伏点を越えて曲げた場合

鋼板の外皮が降伏値に達した後、なお曲げモーメントを増せば彎曲の増加に従つて降伏が漸次内方へ浸入し終に鋼板の内皮にまで及ぶであろう。その後は鋼板内の応力は一定値に止まり、従つて鋼板の曲げ抵抗は一定値となつて、木部の彎曲に伴う抵抗のみが増加する。この場合の曲げモーメントは、

$$M = \int_w \sigma_w \eta \alpha A + 2 \int_s \sigma_s \eta dA = -\frac{EwI_w}{\rho} + \sigma_s A_s (H+h)$$

第2項は彎曲に関係なく一定値である。従つて撓みは、

$$\delta = (yc =) \frac{a^2}{2EwI_w} [Mc - \sigma_s A_s (H+h)]$$

第2項は曲げモーメントに関係なく一定である。接着応力は鋼板の内皮が降伏値に達したときの大きさを持続して変化しない。

VI. む す び

本文は鉄一木一鉄合板の曲げモーメントと撓みとの関係を明らかにし、使用時の許容曲げモーメントを決定したものである。

なおこのような貼合せ材を實際使用するときには、耐水、耐熱性等の特性も必要である。また接着時に膨脹係数の異つた鋼板と木板とを高熱下に曝すことを避ける方がよいから、低温接着剤も考究しなければならない。これらの問題については省略した。

Résumé

Iron thin plates were treated with phosphate and pasted on outsides of wood beams, and their strengths were examined by bending and compressive tests.

When adhesive power of a resin is larger than 15 kg/cm^2 , the iron plate may scarcely be peeled off from the beam at it's remarkable bending deformation.