壓縮成形木材

●陳泰松●

一、 前言

台灣的森林面積約佔台灣土地的五分之三，木材加工業相當發達，可是台灣木材的需求量百分之九十九以上需仰賴進口。由於世界木材產量的急劇降低，加上環保意識的高漲，使得木材的來源日益缺乏，可以想見未來國人在木材的利用上將越來越困難了。台灣在過去三四十年來，林務單位積極進行林相變更，廣植許多杉木、柳杉等針葉樹種，同時在林業的經營上必須經常進行間伐作業，以利林木的生長，這些間伐材若讓其任意腐壞，實屬浪費，但如何有效利用這些材質較差之間伐材或劣質木材，是我們努力的方向，日本與我們的情況類似，對於這方面的研究亦不遺餘力，本文即依日本的研究整理而成，以供參考應用。

二、 壓縮成形木材的加工成形法

一般壓縮成形加工法可分爲軟化、壓縮成形、定型三部份，茲分別介紹如下：

1. 軟化

木材之主成分主要由約45%的纖維素(cellulose)、20-30%的半纖維素(hemicellulose)、16-33%的木質素(lignin)等及少量的抽出成分所組成，因而木材細胞壁內含有許多親水性的氫氧基(-OH)，形成一發達的氫鍵，加大分子間之凝聚力。但木材吸濕時，水份進入細胞壁，先破壞原有的氫鍵，繼之使分子間的距離擴大而降低凝聚力，木材粘彈性遂增大，而纖維素、半纖維素、木質素等木材成分的玻璃轉移點(glass transition temperature)降低，加熱木材約至100℃時，纖維素維持於玻璃狀態，而其餘成分已被軟化成橡膠狀態，是施行成形加工的時機。

一般壓縮成形的軟化方法有1、熱板加熱軟化法。2、蒸煮加熱軟化法。3、微波加熱軟化法。4、高週波加熱軟化法。5、高溫高壓水蒸氣加熱軟化法等等。其中微波加熱軟化法與高週波加熱軟化法屬內部加熱法，而熱板加熱軟化法、蒸煮加熱軟化法、高溫高壓水蒸氣加熱軟化法，則屬於外部加熱法。有關內部加熱法

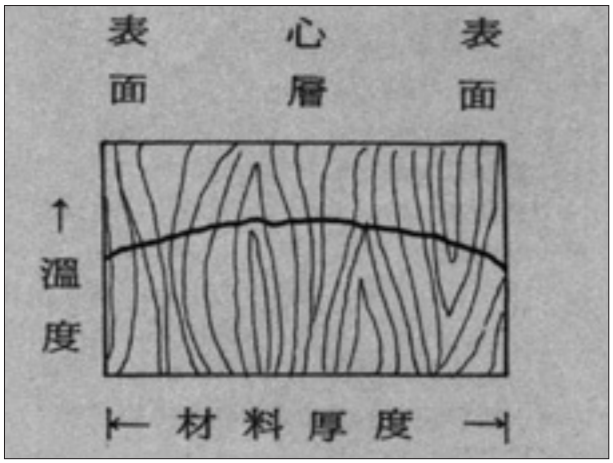


圖1：內部加熱法的溫度變化

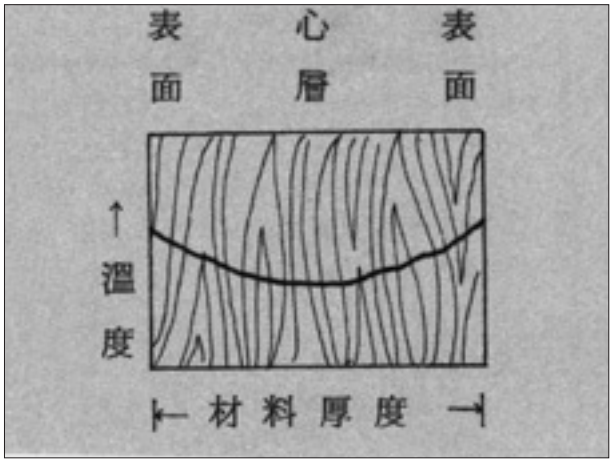


圖2：外部加熱法的溫度分佈

與外部加熱法的溫度變化如圖1,2所示。內部加熱法主要由內部發熱再傳遞至外部，對於厚度大的木材加熱將較迅速。外部加熱法，熱源則由外往內傳遞，因此所需時間較長。

同時進行軟化時相當重要的一因子是木材的含水率。利用微波或高週波加熱軟化時，含水率太低則軟化困難。若要將中心部的年輪成形成正確的四方形，則將內部溫度加熱至較外部稍高或相等的程度是較佳的。

直徑大的原木，邊材與心材的含水率高且幾乎相當，利用微波照射時，材內的溫度幾乎均一的上升；邊材含水率高，心材含水率低的原木，中心部的溫度變高，此時將原木壓縮成形時，從表層至中心部的年輪能均一的成形成四角形。一般含水率在30%以上時，能利用微波加熱軟化壓縮成形。

2. 壓縮成形

一般壓縮成形所使用的機器爲油壓機，其活動壓板依實際需要而加以設置，一般可分爲上下與側方壓板，若有弧度變化則需訂做模具。把原木壓縮成角材所需的壓力，在角材斷面積壓縮原來原木的 50%時，約需14kgf/cm²；壓縮40%時，約需12kgf/cm²；壓縮30%時，約需11kgf/cm²。因此將柳杉原木壓縮成厚11cm、長4m的角材時，具有60ton壓縮性能的油壓機是較佳的，此力約是人們用拇指用力壓的程度。

3. 定型

乾燥的木材彎曲後，當施加的外力去除時，瞬間會恢復到原來的形狀。另一方面，含有多量水分的木材彎曲，再乾燥的話，施加的外力去除後，並不能回復到原來的形狀，此現象稱爲乾燥定型，此與利用熨斗燙襯褲的情形是很類似的。變形的東西被冷卻或乾燥時，細胞間質的彈性能低下，彎曲時因爲被蓄積在微纖維(cellulose microfibril)的彈性能量被抑制，因此形狀被暫時性地固定。但僅被乾燥定型的木材，再次給與熱與水時，彈性能變大，彈性能變成驅動力，把彎曲的木材回復到原來的形狀。因此成形後若僅乾燥，當再給予水與熱時，成形木材會回復到原來的狀態，故給予形狀永久或半永久固定處理是必要的。

利用電子顯微鏡觀察成形木材，如圖3所示，細胞被壓潰，細胞壁變成扁平狀，但是因爲沒有看到細胞壁的破壞，彈性仍舊被蓄積，殘留著應力。去除此殘留應力，使形狀半永久性的固定，有種種的方法，利用反覆的二次加熱與冷卻，解放出彈性能，是其中之一。

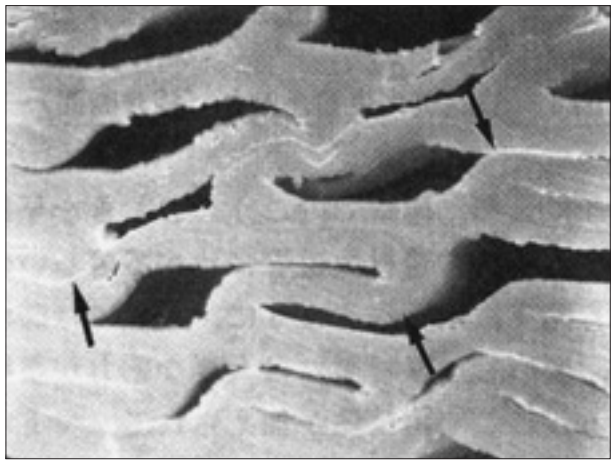
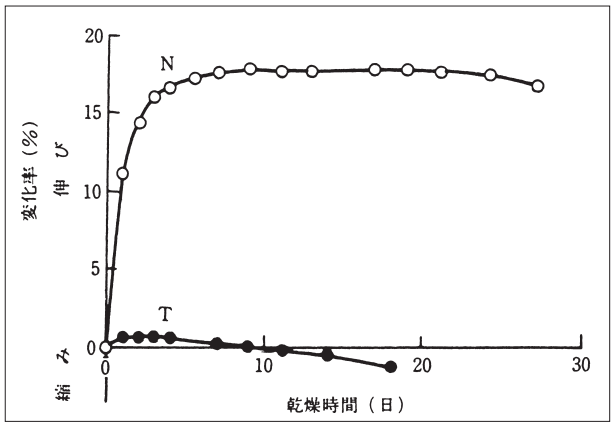


圖3：電子顯微鏡觀察成形木材

依二次加熱處理，木材被軟化，彈性能被緩和，同時彈性能被釋放出來。但是成形木材被壓縮時的形狀，從外部被框架等拘束著，所以不會產生形狀的復原，僅僅是產生微纖維的移動或位置的復元，此乃被認爲是彈性能緩和的原因。因此二次加熱和冷卻的反覆進行，固定形狀是可能的。

冷卻、養生後，用100～120℃二次加熱處理的方法將形狀固定，圖4爲成形木材乾燥過程尺寸的變化。無處理的壓縮成形木材與二次加熱處理的壓縮成形木材，開始乾燥時皆產生回彈現象，但是二次加熱處理的壓縮成形木材，尺寸的變化約是無處理的壓縮成形木材的1/15，幾乎無尺寸的變化，二次加熱處理的壓縮成形木材的殘留應力被緩和至最大壓縮應力的1/15～1/60。



N：無定形處理壓縮成形木材

T：二次加熱處理壓縮成形木材

圖4：成形木材乾燥過尺寸的變化

4. 木材的加工精度

若將原木壓縮成角材，原木前端與末端的直徑比例是一問題。若長爲3m的原木，末端和前端的直徑差在2～3 cm的話，把原木從四方向壓縮成角材對角線的長度變成末端的直徑的角材時，能製造出高效率且全長被均等的成形的優良角材。另外，利用製材進行壓縮成形加工時，其木材厚度的精度最好在±0.5～1mm左右，同時年輪的粗密與構成的差異，亦會影響成形條件，此與實木彎曲是相同的。

三、 壓縮成形木材的性能

1. 外觀的變化

成形後的壓縮木材的外觀特徵是表面硬化與顏色的變化。表面的硬化與壓縮率有關，壓縮率愈大時，組織變的愈緻密，比重愈高，表面變硬，耐磨性愈佳。

顏色的變化與加熱的溫度、時間有關，一般溫度愈高，時間愈長，顏色變得愈暗褐色，同時不僅是表面，亦深入至內層。

2. 木材組織的變化

把原木從周圍壓縮成形的木材，能看到如圖5的斷面，年輪至中心幾乎變形成四角形，特別是其外周部的年輪寬度變小、年輪也摺曲。由於外周部的細胞產生大的變形，此部份的密度變高，特別是細胞形狀大、壁薄的早材假導管的變形最顯著；外周部晚材化的組織變密，原來原木的比重約是0.42，壓縮成形木材，外周部的密度約是0.60～0.80，提升至與硬質闊葉樹材相同。

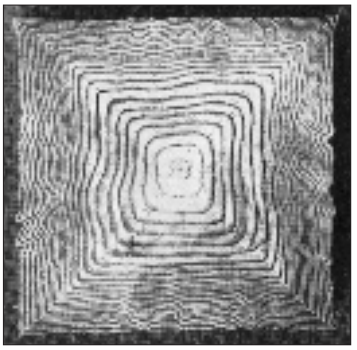
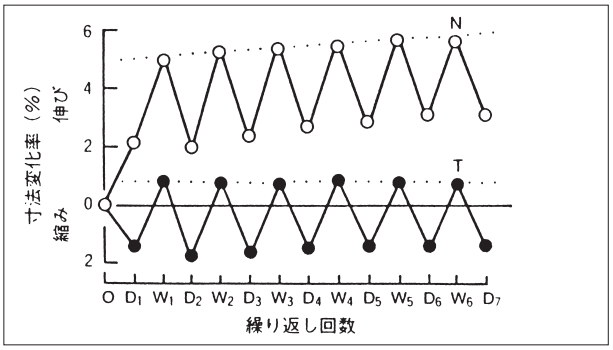


圖5：壓縮成形木材的斷面

3. 尺寸安定性

圖六是壓縮成形木材在乾濕反覆進行時的尺寸變化。無二次加熱處理的壓縮成形木材在第一日的脫濕條件下，其邊長約伸長2%，到了第二日吸濕條件時更加膨脹，邊長約伸長5%，乾濕反覆進行時，對應於壓縮成形木材的尺寸，其皆處於伸長的狀態，一面反覆收縮和膨脹，而徐徐地伸長；另一方面，二次加熱處理的壓縮成形木材，在最初乾燥時收縮約0.5～1%，其後在乾濕的反覆過程，反覆進行收縮與膨脹，雖然重複進行，但是並沒有無限制的膨脹，因此利用二次加熱處理的壓縮成形木材，在通常使用條件下，能發揮十分良好的尺寸安定性。



N：無定形處理壓縮成形木材

T：二次加熱處理壓縮成形木材

圖6：壓縮成形木材在乾溼反覆進行時尺寸的變化

4. 強度性質

壓縮成形木材所造成的附加價值中值得特別介紹的就是其強度性質的改善。壓縮成形木材在不同的厚度下被壓縮，其壓締方向的木材表面與中心部有不同的壓縮率，但若不考慮此因素，而在相同的密度條件下加以比較，可以得到如下的強度變化。

a、中央集中靜彎曲強度

壓縮成形木材和壓縮前的柳杉間伐材比較，依藤盛　啓治等人的研究顯示壓縮成形木材的靜彎曲強度約爲柳杉間伐材的1.9倍。在比例限度荷重，間伐材平均約爲 287.2kgf/cm^2，壓縮成形木材平均約爲 933.2kgf/cm^2，壓縮成形木材的比例限度強度約爲柳杉間伐材的2.4倍。彎曲彈性係數，壓縮成形木材爲壓縮前的柳杉間伐材的1.75 倍，此與橡木有同等以上的靜彎曲強度性質。

b、縱壓縮強度

壓縮成形木材和壓縮前的柳杉間伐材比較，平均約增爲1.7倍。又從破壞面來觀察，橡木是從外側膨脹而破壞，表示其具有韌性；壓縮成形木材是由中央部份斜的破壞，表示是硬的材料。同時縱壓縮強度與靜彎曲強度有相同的增加趨勢，並與壓縮成形木材密度成正相關。

c、剪斷強度

依藤盛　啓治等人的研究顯示壓縮成形木材的剪斷強度，與壓縮成形木材的比重並沒有直接的相關性，由圖7可看出其分佈情況。此與壓縮成形木材的剪斷面與年輪平行或垂直有密切的關係。壓縮成形木材平行時的剪斷強度僅是垂直時剪斷強度的54%左右而已。此現象與年輪的構造及密接程度有關，年輪是由早晚材所構成，因爲晚材比早材容積密度高、構造組織密，所以具有較大的強度。雖然依壓縮成形加工可知比重會增加，但是剪斷強度僅能維持與柳杉間伐材一樣的剪斷強度，發生此現象的原因，可能是因爲在壓縮成形過程中，木材被壓縮至原體積的50%左右，木材內部相對強度較弱的早材部分，管胞、薄壁細胞等針葉樹的木材構造上參與強度的重要部分開始產生微視的破壞所造成的。

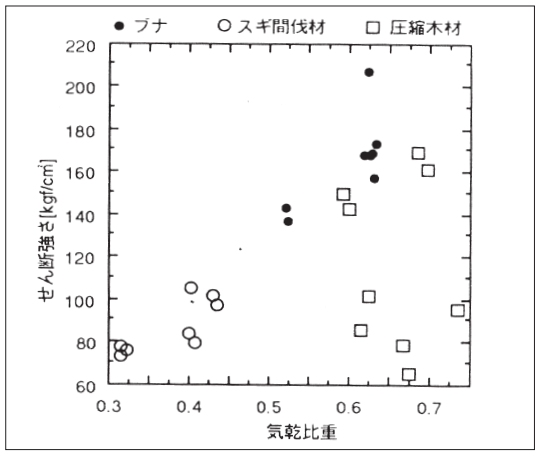


圖7：壓縮成形木材剪斷強度與比重的關係

四、 結語

從木材工業的今後發展來看，低質材的用途開發、林業與林產業的活性化、地球環境的保全，爲今後的課題，如何讓木材工業脫離3K(噪音、灰塵、廢材)是今後努力的目標。利用木材熱可塑性的特色而得到的壓縮成形木材，不但可將原木成形成角材，並且可賦予表面各種模樣外，亦能克服中小徑木低質性；同時不必使用刀具，而能將木材成形成所需要的形狀，並保有木材優良機能的新加工方法，是值得我們去研究發展的。

五、參考資料

●翁徐得、陳泰松、林榮欽，1993， 實木彎曲加工技術之研究， 手工業叢書第二十五號家具技術選輯p25～40

●王松永， 1981， 木材微波加熱之彎曲成型加工， 木工家具12月號8～14。

●小林 好紀，1997，天然秋田スギの再現・整形木材，デザイン學研究特集號5(1)12～16。

●藤盛 啓治等，1997，壓縮木材の成形法と強度，DESIGN STUDIES NO.22 763～768