

Japan wood

日本木材利用手册

(第七版)

Guidance for Japan Wood (Ver. 7)



一般社団法人日本木材出口協会

Japan Wood-Products Export Association

112-0004 東京都文京区后乐1-7-12
Tel (81)3 5844 6275 Fax (81)3 3816 5062
Email: jwe@j-wood.org
URL: www.japan-wood.com (中文)
www.j-wood.org (日文)

一般社団法人日本木材出口協会
Japan Wood-Products Export Association

2021年6月

© 2013-2020 Japan Wood-Products Export Association. All Rights Reserved.



照片提供

- 国立研究开发法人森林研究・整備机构 日本木材数据库(<http://f030091.ffpri.affrc.go.jp/JWDB>)
- 东北森林管理局・中部森林管理局・北海道厅
- 木材利用推进中央委员会・日本集成材工业协同组合・石川县木材产业振兴协会
- 越井木材工业株式会社・池见林产工业株式会社・桑原木材株式会社・津山综合木材市场
- <http://www.house-support.net>・<http://www.homarewood.co.jp>・春名善树
- 一般财团法人日本木材综合信息中心・一般社团法人日本木材出口协会等

本手册受著作权保护。可以完整形式使用或复制本手册的文字图像，但是禁止未经日本木材出口协会（JWE）事前同意或授权而对部分文字图像的擅自使用、复制、加工合成。本手册所记载文字图像所有信息仅供参考，JWE 对利用本手册所造成或衍生之所有行为及结果不承担任何责任。

序言	2
日本柳杉	3
日本扁柏	5
日本落叶松	7
日本罗汉柏	9
库页冷杉	11
日本鱼鳞云杉	13
日本木材物理力学性质	14
日本木材机械加工性能	15
日本柳杉胶粘力学性能	16
日本柳杉连接力学性能	17
日本木材耐久性能	19
日本木材的外观品质等级	21
日本木材的强度等级	22
日本集成材的强度等级	23
JAS与木材的耐久性	25
日本木材耐久性处理技术	26
高性能室外用木制建材	27
高品质室内装饰木制品	29

人类利用木材的历史非常悠久。史载距今约 1 万年前的有巢氏教先人们“以木为材，构木为巢”，开启由穴居进入筑巢而居的进化历程。五代末北宋初的喻皓所撰的《木经》、约一百年之后李诫编著的《营造法式》、清代的《工程做法》中对木材和木材使用的阐述，无不表明了先人们在对木材、木材的利用技术和方法的认识中都希望达到“材尽其用”的目的。

法隆寺是世界现存最早的木构建筑。它是中国南北朝隋代的佛教文化和木构建筑技术经由朝鲜半岛传入日本后于公元607年建成的木结构寺院。以唐招提寺和金堂为主的唐招提寺建筑群是日本现存天平时代最大最美的建筑，由东渡日本的高僧鉴真及其弟子们采用唐代最先进的建筑方法于759年建成。该建筑的整体结构和装饰完美地体现了唐代建筑的特色。在南宋匠师陈和卿的技术指导下，自1183年重建的东大寺是世界现存单体规模最大木构建筑。我们对分布在奈良的上述著名的木结构建筑的溯流求源就可以知道，中日两国在木材利用技术和木构建造技术上的交流可谓源远流长。

进入近代特别是在近几十年里，随着日本的近代化・现代化的推进、木材利用的相关技术和设备的进步、日本国内森林资源的充足，日本的木材利用技术及其相关产业获得了飞跃性的发展。始于1907年的日本胶合板制造现在已发展成为产品种类齐全、技术先进的不可或缺的木材利用重要产业；源自中国的梁柱木构技术顺应日本的多地震、多台风、夏季高温多湿的自然条件、人们对居住的保温隔热性、室内房间布局的可变性、节能性、维护和改建的容易性的需求，创新发展为以柱、梁、地梁、横架梁、楼盖、屋盖、剪力墙等构成的框架剪力墙の木结构技术；支撑框架剪力墙木结构技术的产业化生产木制构件的工厂预制加工技术及集成材、LVL等工程木材料的制造技术，都是这一飞跃性发展的佐证。

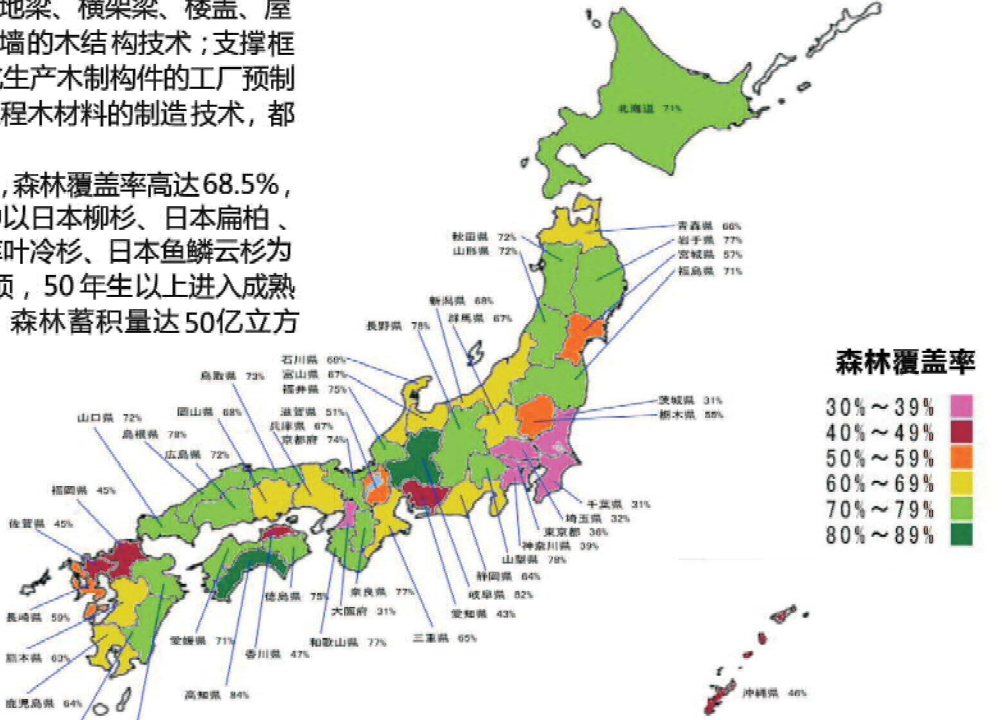
日本拥有丰富的森林资源，森林覆盖率达68.5%，森林面积 2,510万公顷，其中以日本柳杉、日本扁柏、日本落叶松、日本罗汉柏、库叶冷杉、日本鱼鳞云杉为主的人工林超过 1,035万公顷，50年生以上进入成熟期的高龄级人工林急剧增加，森林蓄积量达50亿立方

米。产自可持续经营森林的木材在满足日本国内的木构建筑、室内外装饰、家具、土木工程等需求的同时，近年来以锯材、内外装饰装修、木结构构件等多种产品形式向海外市场出口。日本柳杉、日本扁柏、日本落叶松、日本罗汉柏、库叶冷杉、日本鱼鳞云杉是什么样的木材？具有怎样的力学特性、机械加工性、胶粘性、耐久性？其用途是什么？如何根据木材的特性和使用环境，采用怎样的技术和方法来合理利用各种木材？这些都是面向海外市场亟待回答的问题。

为了回答这些问题，为了使日本木材在中国的使用环境和加工条件下得以“适材适用”，2012年日本木材出口协会和中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院开始了日本柳杉、日本扁柏、日本落叶松的木材特性和应用实证合作研究。并基于合作研究和既有研究的成果先后编写印制了本手册的前五版。本次修订完成的第七版，主要更新了几种树种的资源数据和木材生产量等相关信息。相信本手册有助于中国的木材加工、木结构设计和建造、室内外装饰、木材贸易、木材木结构、木制家具等行业及研究教育相关机构和人士对日本木材的理解和认识，有助于日本木材在中国各领域的合理利用。

一般社团法人日本木材出口协会
中国林业科学研究院木材工业研究所
广东省林业科学研究院

2021年6月

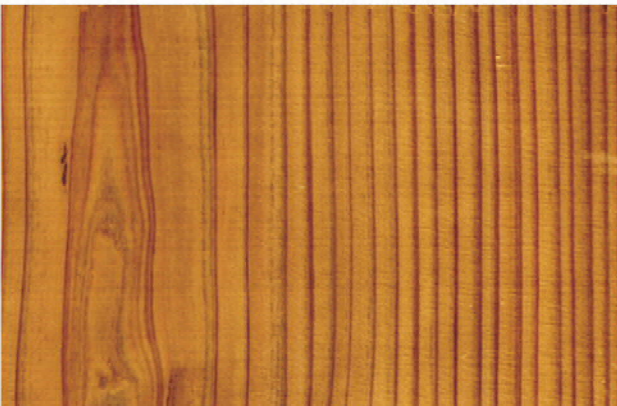


日本各都道府县的森林覆盖率

注：源自<http://kumamori.org>的本图仅显示日本47个都道府县的相互位置及2007年3月31日时点的森林覆盖率，不涉及国界。

日本柳杉

学名：Cryptomeria japonica D. Don
商品名：（中）日本柳杉、日本杉；（英）Japanese cedar；（日）Sugi



主要特征

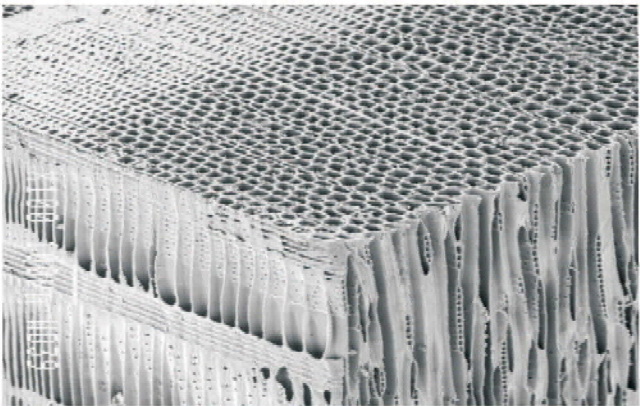
心边材区别明显，边材近白色，心材呈淡红色~赤褐色。早晚材急变，年轮细腻，木材纹理通直。散发特殊芳香。

主要材性

平均气干密度0.38 g·cm⁻³，较轻软。材质比较一致，心材的保存性能中等。易于切削加工，干燥性能、胶粘性能、耐磨性能良好，涂饰性能、握钉力一般。日本柳杉的强度等级根据中国《木结构设计规范》国家标准为TC11B。

主要用途

日本柳杉木材用途广泛，常用于木结构建筑、室内装饰、家具、门窗、集成材、胶合板等。



分布·主要产地

日本柳杉是日本的代表树种之一，常绿大乔木，树干通直。主要分布于本州、四国、九州等暖带至温带下部地区，在日本已有500年以上的栽培历史，栽培范围遍及日本各地。主要产地有秋田县、静冈县（著名产地：天龙）、三重县（尾鹫）、京都府（北山）、奈良县（吉野）、熊本县、大分县（日田）、宫崎县（铁肥）、鸟取县（智头）等地。中国引种栽培日本柳杉始于1914年。在江西、福建、浙江、江苏、四川、湖北、湖南、贵州、广西等省的山区生长良好，已成为中国亚热带山地重要造林树种之一。

资源量·产量

截至2017年3月31日，日本柳杉人工林多达444万公顷，占日本人工林总面积1,018万公顷的44%。蓄积量达到19亿m³，占人工林总蓄积量33亿m³的58%。在柳杉人工林中，8龄级（40年生）及超过8龄级的有17.9亿m³，占94%。2020年的日本柳杉原木产量达到1,168万m³，占原木产量的59%。

日本柳杉材的主要物理力学性质

气干密度 (g·cm ⁻³)	平均收缩系数 (%)		强度 (MPa)			弹性模量 (GPa)
	径向	弦向	弯曲	压缩	剪切	
0.38	0.10	0.25	64	34	5.9	7.4



日本柳杉林 日本柳杉原木 结构用日本柳杉方材



装饰用日本柳杉方木 镂空雕刻栏板 木结构住宅中的结构用、装饰用日本柳杉产品



日本柳杉材的利用实例

日本扁柏

学名： *Chamaecyparis obtusa* Endlicher
商品名：(中) 日本扁柏、桧木、日本柏；(英) Japanese cypress；(日) Hinoki



主要特征

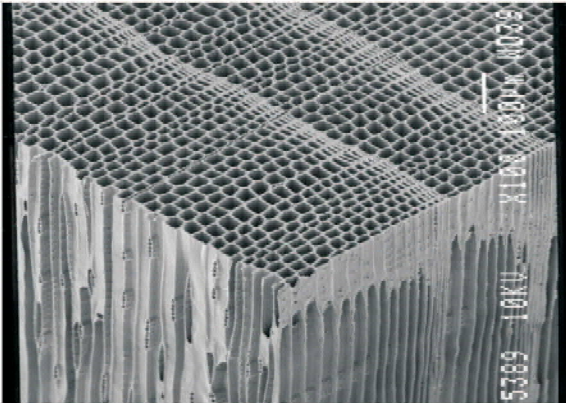
心边材区别明显，边材呈淡黄白色，心材呈淡黄白色、淡红白色。木材纹理通直均匀，纹理细腻，有光泽。散发特殊芳香。

主要材性

平均气干密度0.44 g·cm⁻³，稍轻软。材质一致，心材耐久、耐湿、耐水性能优良，便于长期保存。易于加工，干燥性能、胶粘性能、涂饰性能、耐磨性能良好，握钉力一般。日本扁柏的强度等级根据中国《木结构设计规范》国家标准为TC13A。

主要用途

日本扁柏用途广泛，常用于木结构建筑、室内装饰、家具、门窗、桑拿材、雕刻等，作为高级木材自古以来多用于宫殿寺庙。由于使用中其散发的淡淡的芳香气味和成分利于身心健康，作为健康建材近年来获得众多的研究者和消费者的选用和推崇。



分布·主要产地

日本扁柏是日本的代表树种之一，常绿大乔木，树干通直。主要分布于本州、四国、九州等地区。主要产地有长野县（著名产地：木曾）、岐阜县（东浓）、静冈县（天龙）、三重县（尾鹫）、奈良县（吉野）、和歌山县（高野山）、冈山县、爱媛县、高知县、熊本县等地。中国于1920年代开始引种栽培，在江西、湖南、湖北、安徽、江苏、浙江、山东等省中、高山山区生长良好，已成为重要造林树种之一。

资源量·产量

截至2017年3月31日，日本扁柏的人工林多达259万公顷，占日本人工林总面积的25%，仅次于柳杉。蓄积量达到7.4亿m³，占人工林总蓄积量的22%。在扁柏人工林中，8龄级（40年生）及超过8龄级的有6.5亿m³，占88%。2020年的日本扁柏原木产量达到270万m³，占原木产量的13%。

日本扁柏材的主要物理力学性质

气干密度 (g·cm ⁻³)	平均收缩系数 (%)		强度 (MPa)			弹性模量 (GPa)
	径向	弦向	弯曲	压缩	剪切	
0.44	0.12	0.23	74	39	7.4	8.8



日本扁柏林 日本扁柏原木 结构用日本扁柏方材



装饰、家具用日本扁柏板材 木结构建筑中的日本扁柏梁柱 木结构住宅中的装饰用日本扁柏产品

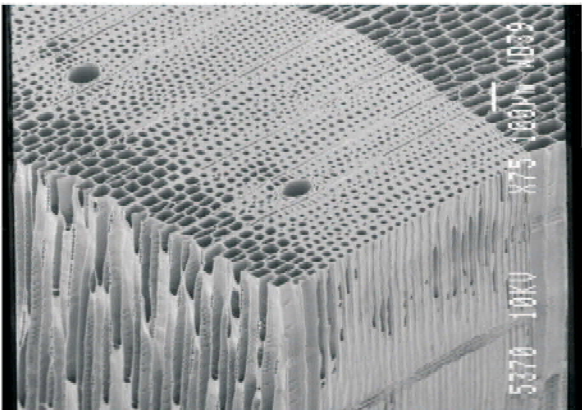
日本扁柏材的利用实例



日本落叶松

学名：*Larix kaempferi* Carriere

商品名：（中）日本落叶松；（英）Japanese larch；（日）Karamatsu



主要特征

心边材区别明显，边材呈黄白色，心材呈褐色。早晚材急变，年轮清晰可见，木材纹理较通直，结构较粗。

主要材性

平均气干密度 $0.50\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，在针叶树中属于重硬材质。心材保存性能中等，具有较高的耐久性能和耐湿性能。干燥性能良好，加工性能、胶粘性能、耐磨性能中等，涂饰性能一般，握钉力较大。日本落叶松的强度等级根据中国《木结构设计规范》国家标准为TC13A。

主要用途

日本落叶松主要用于木构建筑（地梁、柱、梁等）、胶合板、胶合木、土木工程用垫板、托盘、家具等。

分布·主要产地

日本落叶松是日本的代表树种之一，落叶大乔木，树干通直。主要分布于北海道、东北、关东北部等寒冷地区。主要产地有北海道、青森县、岩手县、群馬县、长野县、岐阜县等地。中国引种栽培日本落叶松相传最早始自1884年，现全国已有14省市引种栽培，主要栽培区在东北三省及山东等省。

资源量·产量

截至2017年3月31日，日本落叶松人工林达到98万公顷，占日本人工林总面积的10%。蓄积量达到2.2亿 m^3 ，占人工林总蓄积量的7.0%。在日本落叶松人工林中，8龄级（40年生）及超过8龄级的2.1亿 m^3 ，占95%。2020年的日本落叶松原木产量达到201万 m^3 ，占原木产量的10%。

日本落叶松材的主要物理力学性质

气干密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	平均收缩系数 (%)		强度 (MPa)			弹性模量 (GPa)
	径向	弦向	弯曲	压缩	剪切	
0.50	0.18	0.28	78	44	7.8	9.8



日本落叶松

日本落叶松原木

日本落叶松方材



日本落叶松地板

日本落叶松集成材

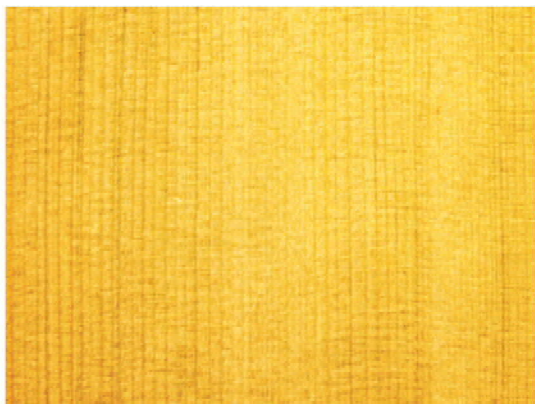
等待转运的日本落叶松材

日本落叶松的利用实例



日本罗汉柏

学名：*Thujopsis dolabrata* Sieb. et Zucc.
商品名：（中）日本罗汉柏、罗汉柏；（英）Hiba Arbor-vitae；（日）Hiba



主要特征

心材淡黄色，边材黄白色，心边材区别不明显。早晚材缓变，年轮不清晰，材质致密，木材纹理细腻。

主要材性

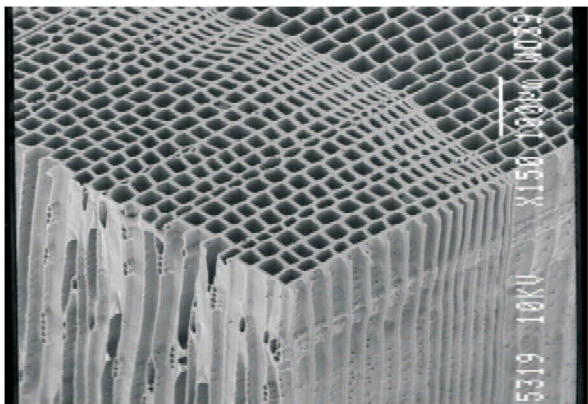
平均气干密度 $0.45\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，材质优异。心材耐腐性能好，具有很高的耐久性能和耐湿性能。干燥性能、胶粘性能、耐磨性能良好，涂饰性能、握钉力一般。

主要用途

日本罗汉柏主要用于木构建筑（地梁、地板梁等）、室内装饰、门窗、家具、漆器材料、土木工程材料等。罗汉柏材富含扁柏硫醇，对霉菌等许多杂菌具有抗菌性，对腐朽菌类的繁殖具有抑制效果，对白蚁、壁虱、蟑螂等害虫具有忌避效果，因此自古以来作为贵重的建筑材料用于建筑物。同时所含扁柏硫醇释放的罗汉柏特有的天然药效成分芳香具有缓解精神压力，使身心得以放松的功效，因此也常见用于浴槽、桑拿间。

日本罗汉柏材的主要物理力学性质

气干密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	平均收缩系数 (%)		强度 (MPa)			弹性模量 (GPa)
	径向	弦向	弯曲	压缩	剪切	
0.45	0.19	0.27	74	39	7.4	8.8



分布·主要产地

日本罗汉柏是原产日本的常绿乔木，树干通直，树高20-30米。主要分布于北海道南部、东北、本州、四国、九州等地区。主要产地有青森县、石川县（著名产地：能登半岛）、长野县（木曾）等地。该树种作为园林树种引种栽培中国始于1935年，现在青岛、南京、上海、福州、安徽、湖北、湖南、昆明、贵州、河南等省市广泛用作园林观赏树种。

资源量·产量

据2006年4月的统计，其国有林部分的蓄积量约为 $1,537\text{万m}^3$ ，2010年的采伐量约为 $12,179\text{m}^3$ 。



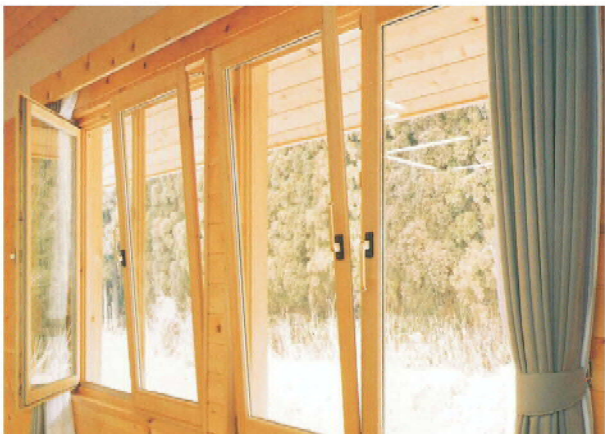
日本罗汉柏林



日本罗汉柏原木



日本罗汉柏材的锯制加工

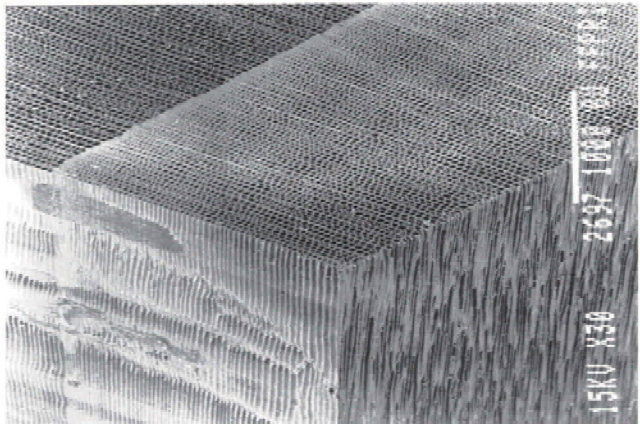


日本罗汉柏的利用实例

库页冷杉

学名 : *Abies sachalinensis* (F.Schm.) Masters

商品名 : (中) 库页冷杉、北海道冷杉 ; (英) Todo fir、Sakhalin fir ; (日) Todomatsu



主要特征

心边材区别不明显，呈白色或淡黄白色。年轮清晰较粗，木材纹理通直。

主要材性

平均气干密度 $0.44\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，较轻软。易于切削加工，干燥性能和胶粘性能良好，涂饰性能中等，握钉力一般。耐磨性能和耐腐性能较低。

主要用途

库页冷杉主要用于木结构建筑、器具材，包装材、纸浆材等。

分布·主要产地

库页冷杉为高可达30m、胸径可达60cm的常绿大乔木，与日本冷杉、台湾冷杉、川滇冷杉、西藏冷杉、加州红冷杉同属冷杉属。该树种与鱼鳞云杉同为日本北海道的代表树种，主要分布于北海道等地区。

资源量·产量

截至2017年3月31日，日本库页冷杉人工林78万公顷，占日本人工林总面积1,018万公顷的8%。蓄积量达到12,994万 m^3 ，占人工林总蓄积量33亿 m^3 的4%。在库页冷杉人工林中，8龄级（36-40年生）及超过8龄级的有11,766万 m^3 ，占90%。2020年的库页冷杉和日本鱼鳞云杉的原木产量达到93万 m^3 ，占原木产量的5%。

日本库页冷杉材的主要物理力学性质

气干密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	平均收缩系数 (%)		强度 (MPa)			弹性模量 (GPa)
	径向	弦向	弯曲	压缩	剪切	
0.44	0.14	0.35	64	32	6.4	7.8



库页冷杉林



库页冷杉干燥材



库页冷杉厚板



结构用库页冷杉方材



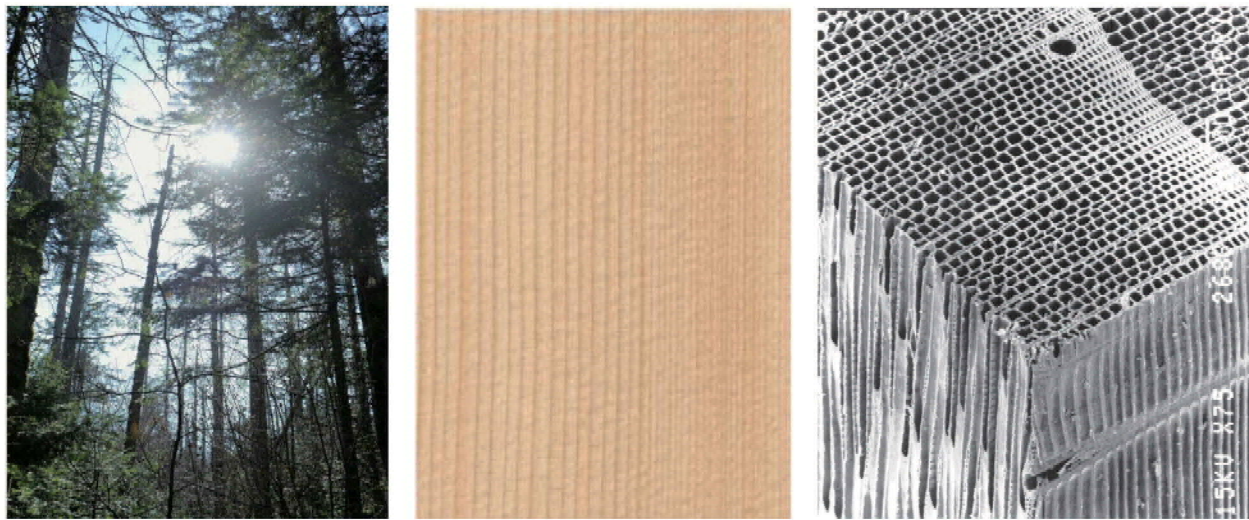
家具、装饰用库页冷杉板材



多用途库页冷杉小方材

日本鱼鳞云杉

学名：Picea jezoensis Carriere
商品名：(中)日本鱼鳞云杉；(英)Yezo spruce、Hokkaido spruce；(日)Ezomatsu



主要特征

心边材区别不明显，呈淡黄白色。年轮清晰细腻，木材纹理通直。

主要材性

平均气干密度 0.43 g·cm⁻³，硬度较软或中等。易于切削加工，干燥性能和胶粘性良好，涂饰性能和握钉力一般。耐磨性能和耐腐性能较低。该树种木材的强度等级根据中国《木结构设计规范》国家标准为TC15B。

主要用途

日本鱼鳞云杉的用途广泛，主要用于建筑用构造材、室内装饰材、门窗、家具、纸浆材、乐器材料等。

分布·主要产地

日本鱼鳞云杉为常绿大乔木，树干通直，高达40m、胸径可达1m，与麦吊云杉、西藏云杉、欧洲云杉同属云杉属。该树种与库页冷杉同为日本北海道的代表树种，主要分布于北海道、本州的中部山岳地带、纪伊半岛的大峰山、中国东北地区、朝鲜、西伯利亚、库页岛、千岛群岛等地区。

资源量·产量

截至2017年3月31日，日本鱼鳞云杉人工林有10,868公顷，蓄积量达到145.6万m³。在日本鱼鳞云杉人工林中，8龄级（36-40年生）及超过8龄级的有143万m³，占98%。2020年的日本鱼鳞云杉和库页冷杉的原木产量达到93万m³，占原木产量的5%。

日本鱼鳞云杉材的主要物理力学性质

气干密度 (g·cm ⁻³)	平均收缩系数(%)		强度(MPa)			弹性模量 (GPa)
	径向	弦向	弯曲	压缩	剪切	
0.43	0.15	0.29	69	34	6.9	8.8

日本木材物理力学性质

日本主要树种木材的物理力学性质

测试指标		日本柳杉	日本扁柏	日本落叶松
气干密度(g·cm ⁻³)		0.34	0.46	0.51
全干收缩率(%)	径向	2.43	3.17	3.18
	弦向	7.30	6.31	7.16
	体积	10.04	9.55	10.51
气干收缩率(%)	径向	1.23	1.61	1.56
	弦向	4.30	3.64	3.81
	体积	5.72	5.25	5.40
线湿胀率(全干-气干)(%)	径向	1.37	1.56	1.60
	弦向	3.72	2.99	3.26
	体积	5.50	5.25	5.31
线湿胀率(全干-湿水)(%)	径向	2.58	4.51	3.16
	弦向	7.59	5.26	7.06
	体积	10.57	6.54	10.81
抗剪强度(MPa)	径面	6.31	8.38	8.95
抗弯强度(MPa)		54.61	81.78	73.18
抗弯弹性模量(GPa)		7.33	10.57	11.09
顺纹抗压强度(MPa)		27.82	40.79	41.00
横纹(全部)抗压强度(MPa)	径向	2.28	5.46	3.17
	弦向	2.63	5.06	4.64
抗拉强度(MPa)		61.75	107.33	86.46
冲击韧性(kJ·m ⁻²)		19.49	45.37	28.24
硬度(N)	端面	2721.97	3922.96	4767.32
	弦面	1669.17	2837.61	3052.67
	径面	1448.16	2392.77	3188.27
表面硬度(N)	端面	21.18	22.99	30.11
	弦面	5.00	9.71	10.12
	径面	6.88	8.59	11.29

注：① 本表数据来自“日本主要树种木材利用实证中日合作研究项目”（中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院、日本木材出口协会）。
② 供试木材：冈山县产日本柳杉、日本扁柏、岩手县产日本落叶松。
③ 根据中国国家标准《木材物理力学性能试验方法》（GB1927~1943-2009）测试。

日本木材机械加工性能

机械加工项目 (加工性能测评项目)	质量等级值	加工性能等级
刨切	4.91	优
车削	2.88	中
砂光	5.00	优
成型	2.79	中
开榫	3.42	良
钻孔	3.45	良
横截	5.00	优

机械加工项目 (加工性能测评项目)	质量等级值	加工性能等级
刨切	4.91	优
车削	4.25	优
砂光	5.00	优
成型	3.97	良
开榫	3.41	良
钻孔	3.76	良
横截	5.00	优

机械加工项目 (加工性能测评项目)	质量等级值	加工性能等级
刨切	4.91	优
车削	2.88	中
砂光	5.00	优
成型	2.79	中
开榫	3.42	良
钻孔	3.45	良
横截	5.00	优

注：①本页数据来自“日本主要树种木材利用实证中日合作研究项目”（中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院、日本木材出口协会）。

②供试木材：冈山县产日本柳杉、日本扁柏、岩手县产日本落叶松。

③依据美国标准《Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials》（ASTM D 1666 ~ 87 Reapproved 1999）测试。

④机械加工性能等级区分如下：

性能等级	质量等级值	性能等级描述
优 (Excellent)	4-5	无加工缺陷。
良 (Good)	3-4	有极其轻微加工缺陷，可用砂纸轻磨消除。
中 (Fair)	2-3	有较大轻微加工缺陷，尚可用砂纸轻磨消除。
差 (Poor)	1-2	有深、大的加工缺陷，该缺陷很难消除。
劣 (Very poor)	0-1	有极大的加工缺陷，不推荐对该木材使用此项机械加工。

日本柳杉胶粘力学性能

胶粘能力

通过日本柳杉胶粘能力试验，可知干、湿态下的木破率的平均值均高于97%（详细参见下表），表明日本柳杉具有良好的胶合性能，试件的胶合剪切强度取决于木材强度本身（见下图）。

胶粘能力试验条件下的日本柳杉胶合剪切强度测试结果						
测试指标	胶合剪切强度(MPa)		木破率(%)		含水率(%)	
	干态	湿态	干态	湿态	干态	湿态
统计值						
平均值	6.14	4.69	99.22	97.57	9.84	55.64
变异系数	8.38	5.99	32.98	20.87	9.14	3.27
Min~Max	4.39~8.67	3.14~6.49	78.03~100.00	77.91~100.00	8.21~13.94	29.70~108.9



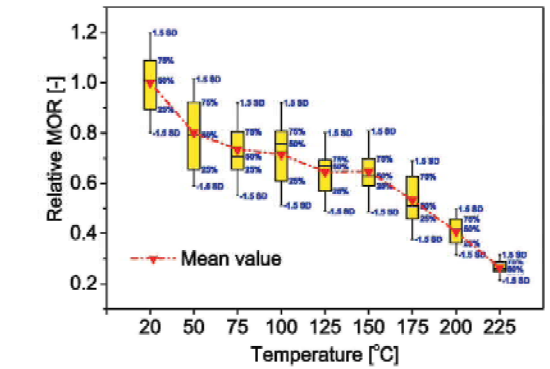
胶粘能力试验后的日本柳杉集成材试件的破坏状态

胶粘胶缝完整性检验

胶缝完整性检验后的试样如右图所示，在顺纹方向的两端会出现细微裂纹，但无脱胶现象，即总脱胶率、最大脱胶率均为零，表明日本柳杉制造的集成材（胶合木）具有良好的胶合性能，是制造集成材（胶合木）的良好材料。

温度对日本柳杉胶合指形连接抗弯力学性能的影响

日本柳杉 两种胶合（异氰酸酯、间苯二酚）指接试样，在不同温度（20℃ ~ 225℃）下，其抗弯破坏均起始于受拉区边缘的指接处。指接材的抗弯力学性能受含水率、温度和受热时间的影响，且各因子与温度之间存在耦合效应。当含水率、温度升高时，其力学强度均会



异氰酸酯指接试样的相对抗弯强度

注：① 本页数据来自“日本主要树种木材利用实证中日合作研究项目”（中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院、日本木材出口协会）。

② 供试木材：冈山县产日本柳杉

③ 参照GB/T 50329-2012《木结构试验方法标准》测试评价

胶粘耐久性

从日本柳杉胶粘耐久性试验结果（下表）可知，干、湿态木破率的平均值均高于80%，表明日本柳杉具有良好的胶粘耐久性能，大多数试件的胶合剪切强度取决于木材强度本身（见下图）。

胶粘耐久性试验条件下的日本柳杉胶合剪切强度测试结果						
测试指标	胶合剪切强度(MPa)		木破率(%)		含水率(%)	
	干态	湿态	干态	湿态	干态	湿态
统计值						
平均值	4.15	3.94	92.39	83.27	31.96	40.88
变异系数	12.15	10.87	9.13	4.92	4.59	7.14
Min~Max	3.17~4.86	3.31~4.79	62.00~100.00	32.00~100.00	15.55~49.39	27.17~56.19

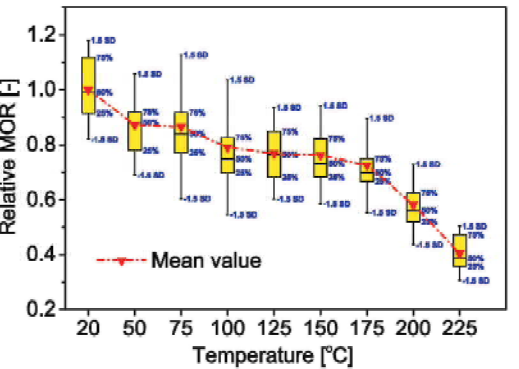


胶粘耐久性试验后的日本柳杉集成材试件的破坏状态



胶缝完整性试验后的日本柳杉集成材试件

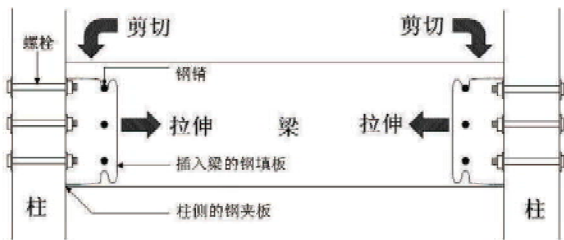
下降。其力学强度如下图所示均在50℃和175℃附近均出现较明显的拐点。在高温状态中保持 2h 后，其仍具有一定的剩余强度，表明日本柳杉胶合指接材具有较好的耐高温性能。



间苯二酚指接试样的相对抗弯强度

日本柳杉连接力学性能

梁柱连接金属紧固件工法在日本已成为梁柱结构中连接部位的主要工法。该工法使用的金属紧固件虽然表现多样但其基本形式如下图所示，主要通过钢夹板、插入的钢填板、螺栓和钢销将梁柱连接起来，其中螺栓、钢销等销轴类紧固件与木构件直接接触承载，承受的荷载通常与紧固件长度方向垂直，故称为侧向抗剪切连接，屈服时销轴自身产生弯曲和木材销槽承压破坏，韧性较好。



梁柱连接部位金属紧固件受力分析

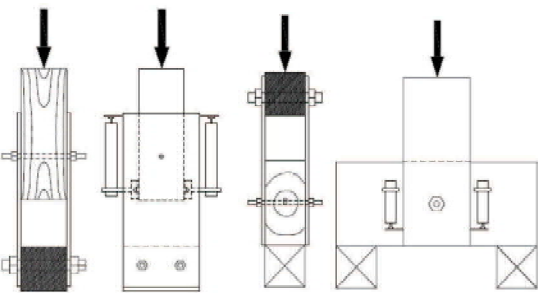
试验材料柱3010mm（长度）×120mm(宽度) × 120mm(厚度)，梁3010mm（长度）×120mm(宽度) ×240mm(厚度)，柱梁锯材包含髓心等级JAS2级（机械等级E70），柱梁集成材等级E65-F255。

连接试验用日本柳杉锯材和集成材性质

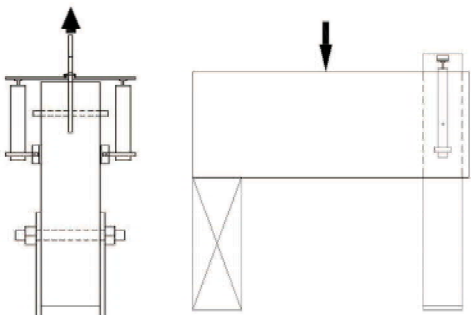
试验材料	弹性模量 (GPa)	表观密度 (g·cm ⁻³)	含水率 (%)
锯材柱 (5)	7.9 (11.4%)	0.434 (3.8%)	9.9 (10.3%)
集成材柱 (10)	9.0 (6.4%)	0.378 (6.5%)	8.1 (10.3%)
锯材梁 (20)	7.4 (19.3%)	0.407 (8.2%)	15.8 (17.5%)
集成材梁 (20)	9.2 (4.7%)	0.394 (3.4%)	8.7 (8.7%)

注：①括号内为试材数量或变异系数，弹性模量为纵向振动法。
②试验材料：日本冈山县产日本柳杉结构用锯材和集成材。
③本页数据来自“日本主要树种木材利用实证中日合作项目”（中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院、日本木材出口协会）。

针对日本柳杉胶合木和锯材梁柱连接形式，如下图所示构建 4 类钢夹板螺栓连接和钢填板销连接力学性能试验，钢板厚度 10mm, 普通螺 栓、销直径 12mm, 承载长度 120mm。



(a) (b)



(c) (d)
(a) 顺纹方向柱钢夹板螺栓连接压剪，端距 240mm
(b) 横纹方向梁钢夹板螺栓连接压剪，边距 120mm
(c) 顺纹方向梁钢填板销连接拉剪，端距 84mm
(d) 横纹方向梁钢填板销连接弯剪，端距 84mm

日本柳杉螺栓和销连接试验类型示意图

(a) 类试验分别锯材柱、集成材柱螺栓轴向平行胶层方向（||）和垂直胶层方向（⊥），(b)、(c)、(d) 类试验分别锯材、集成材进行，共 4 类 9 种，每种试样数 10 个，其中 5 个试样单调加载，5 个单向往复加载，结果表明，在满足设计规范要求端距和边距条件下日本柳杉结构用锯材和集成材连接性能稳定，符合规范设计值。

顺纹方向柱钢夹板螺栓连接压剪试验结果（a）

试样类型 加载方式	统计值	最大 荷载 (kN)	2/3 最大 荷载 (kN)	屈服 荷载 (kN)	表观 密度 (g·cm ⁻³)
锯材	单 调	均值	62.3	41.5	13.4
	往 复	均值	60.3	40.2	13.1
锯材总体	均值	61.1	40.7	13.2	0.423
	变异%	4.0	4.0	18.5	3.7
集成材	单 调	均值	59.2	39.5	20.3
	往 复	均值	51.1	34.1	16.3
集成材 总 体	均值	54.7	36.5	17.8	0.371
	变异%	11.2	11.2	35.1	4.1
集成材⊥	单 调	均值	59.5	39.7	9.6
	往 复	均值	59.3	39.5	15.9
集成材⊥总 体	均值	59.4	39.6	11.9	0.371
	变异%	5.5	5.5	34.1	8.9

注：屈服荷载由 5%直径偏移法从试验曲线中求得。试样为 360mm（顺纹长度）× 120 mm（宽度）× 120 mm（厚度）。

横纹方向梁钢夹板螺栓连接压剪试验结果（b）

试样类型 加载方式	统计值	最大 荷载 (kN)	2/3 最大 荷载 (kN)	屈服 荷载 (kN)	表观 密度 (g·cm ⁻³)
锯材	单 调	均值	61.0	40.7	13.2
	往 复	均值	60.6	40.4	11.9
锯材总体	均值	60.8	40.6	12.6	0.372
	变异%	5.8	5.8	14.6	6.0
集成材	单 调	均值	62.4	41.6	11.4
	往 复	均值	61.5	41.0	14.6
集成材总体	均值	61.9	41.3	13.2	0.385
	变异%	6.6	6.6	20.5	3.9

注：试样 600mm（顺纹长度）×120mm(宽度) ×240mm(厚度)

顺纹方向梁钢填板销连接拉剪试验结果（c）

试样类型 加载方式	统计值	最大 荷载 (kN)	2/3 最大 荷载 (kN)	屈服 荷载 (kN)	表观 密度 (g·cm ⁻³)
锯材	单 调	均值	24.8	16.6	22.8
	往 复	均值	27.0	18.0	24.3
锯材总体	均值	25.9	17.3	23.6	0.400
	变异%	11.3	11.3	11.7	8.7
集成材	单 调	均值	24.9	16.6	23.2
	往 复	均值	25.0	16.7	22.4
集成材总体	均值	25.0	16.6	22.9	0.383
	变异%	10.9	10.9	10.1	3.3

注：试样 600mm（顺纹长度）×120mm(宽度) ×240mm(厚度)

横纹方向梁钢填板销连接弯剪试验结果（d）

试样类型 加载方式	统计值	最大 荷载 (kN)	2/3 最大 荷载 (kN)	屈服 荷载 (kN)	表观 密度 (g·cm ⁻³)
锯材	单 调	均值	15.0	10.0	13.2
	往 复	均值	14.8	9.9	12.4
锯材总体	均值	14.9	9.9	12.9	0.382
	变异%	13.8	13.8	13.6	10.0

集成材	单调	均值	21.1	14.1	14.9	0.382
		变异%	8.7	8.7	9.6	3.9
	往复	均值	19.7	13.1	14.6	0.379
		变异%	6.3	6.3	4.9	4.0
集成材		均值	20.4	13.6	14.8	0.381
总体		变异%	8.1	8.1	7.3	3.8

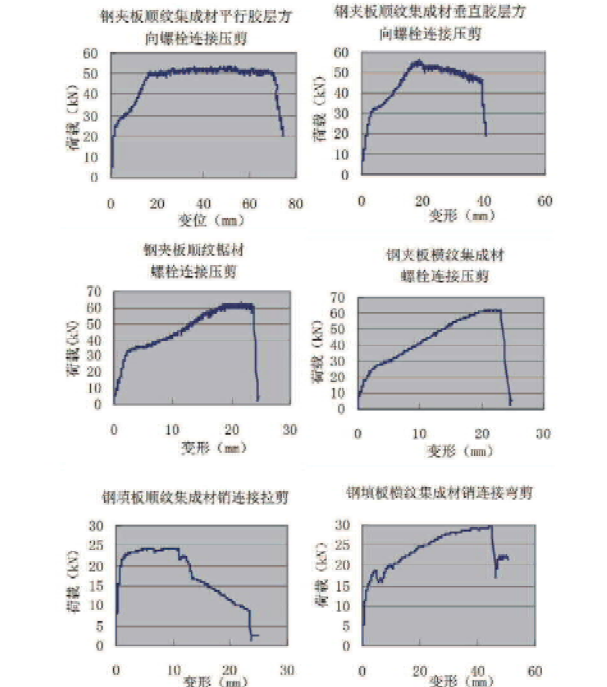
注：试样 850mm（顺纹长度）×120mm(宽度) ×240mm(厚度)

表中试验结果表明，往复加载方式连接性能比单调加载方式稍低。通常钢夹板螺栓连接容许荷载由屈服荷载决定，顺纹屈服荷载稍高于横纹，而钢填板销连接容许荷载由 2/3 最大荷载决定。顺纹方向锯材压剪和拉剪连接性能稍强于集成材，而横纹方向集成材压剪和弯剪连接性能强于锯材。

从典型曲线图可见，柱钢夹板螺栓连接中，当螺栓轴向与集成材胶合层平行时韧性最好，在保持较大荷载时可产生较大滑移变形而不开裂，其次为与集成材胶合层垂直时；而锯材由于荷载较大通常使得普通螺栓与钢板产生剪断破坏。

从整体加载过程分析，横纹梁钢夹板螺栓连接压剪、顺纹梁钢填板销连接拉剪和横纹梁钢填板销连接弯剪试验锯材韧性均好于集成材。横纹梁钢夹板螺栓连接破坏模式多为螺栓头部剪断（见彩图）。

总体连接力学性能集成材稳定性稍好，而锯材韧性更好。



日本柳杉螺栓和销连接荷载-滑移变形曲线



日本柳杉螺栓和销连接力学试验典型破坏模式

日本木材耐久性能

天然防腐抗蚁性能（野外埋地试验）

埋地3年试件天然耐久性完好指数

埋地地点	试件完好指数	马尾松	樟子松	日本柳松	日本扁柏	日本落叶松
黄山	耐腐朽完好指数	9.98	9.98	8.53	9.10	9.73
	抗白蚁完好指数	8.10	7.23	8.10	8.00	8.88
广州	耐腐朽完好指数	4.43	6.41	1.30	4.85	6.30
	抗白蚁完好指数	1.85	4.90	1.00	2.55	2.03

注：①本表数据来自“日本主要树种木材利用实证中日合作研究项目”（中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院、日本木材出口协会）。
②埋地试验地：广东省林业科学研究院野外暴露试验场、安徽省黄山市旌德县庙首林场
③依据《木材耐久性能 第2部分：天然耐久性野外试验方法》（GB/T 13942.2-2009）。

防腐处理木材埋地3年的天然耐久性完好指数

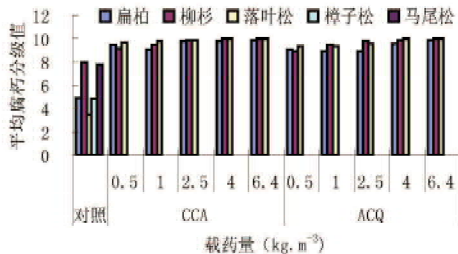
试件完好指数	树种	CCA处理木材载药量 (kg·m ⁻³)					ACQ处理木材载药量 (kg·m ⁻³)				
		0.5	1.0	2.5	4.0	6.4	0.5	1.0	2.5	4.0	6.4
耐腐性完好指数	日本落叶松	9.95	9.95	10.00	10.00	10.00	8.8	9.16	9.29	9.83	9.95
	日本扁柏	9.63	9.53	9.58	9.90	9.95	7.88	7.88	8.95	9.37	9.43
	日本柳杉	9.97	9.98	9.83	9.98	10.00	7.55	8.25	9.00	9.43	9.98
抗白蚁完好指数	日本落叶松	4.68	9.38	9.80	9.90	10.00	6.73	6.55	9.16	9.63	9.90
	日本扁柏	7.70	9.05	9.40	9.50	9.83	8.58	8.90	9.23	9.58	9.78
	日本柳杉	5.71	9.20	9.53	9.68	9.83	7.00	8.75	9.25	9.43	9.90

注：①埋地试验地：广东省林业科学研究院野外暴露试验场

天然耐腐菌性能（土床试验）

依据《木材防腐剂性能评估的土床试验方法》(GB/T 29902-2013)测试了经CCA和ACQ木材防腐剂处理的日本柳杉、日本扁柏和日本落叶松三种木材天然耐腐菌性能。试验以马尾松和樟子松为对照样。

试件经3年测试后，对照试件樟子松腐朽最严重，其次为日本落叶松，日本柳杉、日本扁柏、马尾松的平均腐朽程度差别不大。CCA载药量为0.5kg/m3或ACQ载药量为0.5kg/m3时的日本柳杉、日本扁柏和日本落叶松开始腐朽，其余防腐处理试件平均腐朽分级值在9.5以上，无明显腐朽。



土床试验 3 年试件平均腐朽分级值

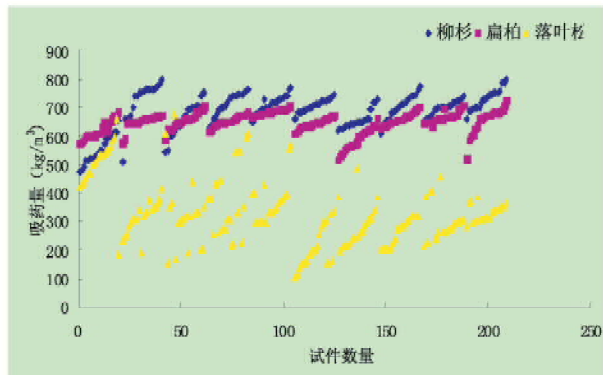


土床试验 3 年试件天然耐腐菌表现

防腐可处理性

试验采用加压真空处理工艺，测试了CCA防腐剂在日本柳杉、日本扁柏、日本落叶松木材中的渗透性能和吸药量，结果如以下 2图所示。通过数据分析得出以下结论：

①试件规格尺寸对木材防腐处理效果具有显著影响，横截面积尺寸越小越有利于防腐剂在木材中的渗透。



日本柳杉、日本扁柏、日本落叶松木材试样吸药量

②防腐剂在柳杉和扁柏中的渗透度基本在90%以上，属于可用于防腐处理木材树种，但扁柏中存在树脂会影响防腐剂渗透。防腐剂在落叶松中渗透困难，在有特殊要求条件下，需要对落叶松木材进行刻痕等预处理以提高防腐剂在材中的渗透深度。



防腐剂中的铜元素在日本主要树种木材中的渗透情况（从左至右依次为日本落叶松、日本扁柏、日本柳杉）

防腐处理木材力学性能

日本柳杉和日本扁柏木材的顺纹抗压强度

树种	处理方式	气干密度 (g·cm ⁻³)	载药量(kg·m ⁻³)	平均值 (MPa)	变异系数(%)	差异显著性分析 (α=0.05)
日本柳杉	未处理	0.40	-	37.96	9.60	0.796
	ACQ 防腐处理	0.38	5.67	38.25	6.18	
日本扁柏	未处理	0.43	-	42.64	4.91	0.275
	ACQ 防腐处理	0.48	5.84	43.69	6.88	

日本柳杉和日本扁柏木材的弹性模量和抗弯强度

树种	处理方式	气干密度 (g·m ⁻³)	载药量 (kg·m ⁻³)	抗弯弹性模量 (MOE)		抗弯强度 (MOR)		差异显著性分析 (α=0.05)	
				平均值 (GPa)	变异系数 (%)	平均值 (MPa)	变异系数 (%)	MOE	MOR
日本柳杉	未处理	0.39	-	6.17	16.22	60.94	11.73	0.065	0.973
	ACQ 防腐处理	0.39	5.45	6.89	15.52	60.86	11.38		
日本扁柏	未处理	0.48	-	9.19	7.47	92.64	5.81	0.176	0.063
	ACQ 防腐处理	0.49	5.40	9.51	6.00	87.84	5.46		

注：① 本表数据来自“日本主要树种木材利用实证中日合作研究项目”（中国林业科学研究院木材工业研究所、广东省林业科学研究院、日本木材出口协会）。
② 供试木材为冈山县产日本柳杉、日本扁柏，防腐处理前未作刻痕预处理。
③ 依据《木材抗弯强度试验方法》（GB/T 1936.1-2009）、《木材抗弯弹性模量测定方法》（GB/T1936.2-2009）、《木材顺纹抗压强度试样方法》（GB/T 1935-2009）测定。

日本木材的外观品质等级

木材作为一种材料或中间产品，在第一层次上按其加工中是否使用了胶粘剂可分为天然木材和复合木材两大类。在第二层次上按加工后的结构和形态又可把天然木材分为原木、锯材，把复合木材分为人造板（胶合板、刨花板、纤维板）、集成材（胶合木）、LVL（单板层积材）、CLT（正交胶合木）等。在第三层次按其用途又可分为结构用木材和非结构用木材。木材行业和建筑行业又常把结构用复合木称为工程木材。但以上

日本市场上惯用的木材等级

在日本木材的购销、流通、使用中经常遇到“二等、一等、特一等”、“小节、上小节、无节”等惯用说法。这些惯称的木材等级与木材强度无关，仅仅是木材外观品质（品相）的优劣区分的等级，主要由“形状”和“木节”来确定。

在 JAS 锯材标准中，按照木材的外露面即装饰面上木节的有无或大小对非结构用锯材的材面品质分为小节、上小节、无节三个等级。但是在木材流通行业中，在小节等级前还有一个“特一

等”等级，在上小节、无节两个等级之间还有一个“特选上小节”等级。

为了正确地、合理地使用木材，我们首先需要认识木材的等级划分。木材等级主要是为了区分木材外观品质的优劣或木材强度的高低，是决定木材价格的主要因素之一。

在日本国内，按照形状即方材的四边是否带有钝棱把方材分为特等材、一等材、二等材三个等级（见下表）。由于日本国内市场需求量的减少等原因，上述的“一等材”、“二等材”在日本市场基本不存在，即市场上流通的基本都是特等材。

方材的等级划分

特等材	纤维方向四边均为直角无缺口或钝棱的方材
一等材	带有少许钝棱的方材
二等材	带有较多钝棱的方材

锯材JAS对材面品质的等级划分

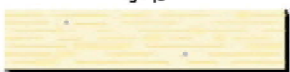
小节	在1个以上的材面上，长径20mm以下（活节之外的木节时10mm）的木节在材长2m以下时少于5个（木材横断面的长边210mm以上时少于8个）。
上小节	在1个以上的材面上，长径10mm以下（活节之外的木节时5mm）的木节在材长2m以下时少于4个（木材横断面的长边210mm以上时少于6个）。
无节	在1个以上的材面上没有木节。



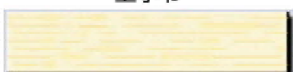
小节



上小节

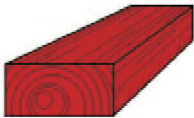


特选上小节

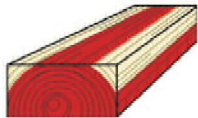


无节

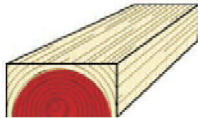
小节、上小节、特选上小节、无节图示



赤材



源平材



白太材

赤材、源平材、白太材图示

日本木材的强度等级

结构用锯材的等级

锯材的日本农林标准（JAS：Japanese Agricultural Standard）详细规定了非结构用锯材、结构用锯材、基材用锯材、阔叶树锯材的定义、质量标准或强度标准、等级、试验方法、产品质量表示方法等。该标准将结构用锯材划分为目视等级材、机械等级材、无等级材三类，前两类为 JAS 认证的对象，后一类木材虽有强度但因未经 JAS 认证而被视为无等级材（无 JAS 认证等级的木材，即 JAS 认证材以外的锯材）。对所谓的“无等级材”不能望字生义，切忌简单地理解为“无等级材 = 低劣木材”或“无等级材 = 等外材”。

日本主要针叶树结构用目视等级材的标准强度

树种	区分	等级	标准强度(N·mm ⁻²)			
			抗压	抗拉	抗弯	抗剪
落叶松	甲种结构材	1级	23.4	18.0	29.4	2.1
		2级	20.4	15.6	25.8	
		3级	18.6	13.8	23.4	
	乙种结构材	1级	23.4	14.4	23.4	
		2级	20.4	12.6	20.4	
		3级	18.6	10.8	17.4	
日本罗汉柏	甲种结构材	1级	28.2	21.0	34.8	2.1
		2级	27.6	21.0	34.8	
		3级	23.4	18.0	29.4	
	乙种结构材	1级	28.2	16.8	28.2	
		2级	27.6	16.8	27.6	
		3级	23.4	12.6	20.4	
日本扁柏	甲种结构材	1级	30.6	22.8	38.4	2.1
		2级	27.0	20.4	34.2	
		3级	23.4	17.4	28.8	
	乙种结构材	1级	30.6	18.6	30.6	
		2级	27.0	16.2	27.0	
		3级	23.4	13.8	23.4	
日本柳杉	甲种结构材	1级	21.6	16.2	27.0	1.8
		2级	20.4	15.6	25.8	
		3级	18.0	13.8	22.2	
	乙种结构材	1级	21.6	13.2	21.6	
		2级	20.4	12.6	20.4	
		3级	18.0	10.8	18.0	

注：本表根据《锯材日本农林标准》制作

目视等级材是根据对木节、钝棱等缺陷的目测结果划分了强度等级的木材，可分为甲种结构材（主要用于抗弯强度要求较高的部位的结构材，如地梁、地板梁、地板搁栅、梁（二楼梁、横架梁、檐桁架等）、栋梁等）和乙种结构材（主要用于抗压强度要求较高的部位的结构材，如柱（通柱、间柱、角柱）、屋架柱等），其强度等级按从高到低的顺序分为 1 级、2 级、3 级。

机械等级材的强度等级按木材的弹性模量大小划分，无等级材的标准强度则是依树种而定。强度等级的数值越大则表示的强度越高。

主要针叶树结构用机械等级材的标准强度

	等级	标准强度(N·mm ⁻²)			
		抗压	抗拉	抗弯	抗剪
赤松、花旗松、兴安落叶松、西部铁杉、长白鱼鳞云杉、库页冷杉	E70	9.6	7.2	12.0	按树种采用上表的标准强度
	E90	16.8	12.6	21.0	
	E110	24.6	18.6	30.6	
	E130	31.8	24.0	39.6	
	E150	39.0	29.4	48.6	
日本落叶松、日本扁柏、日本罗汉柏	E50	11.4	8.4	13.8	
	E70	18.0	13.2	22.2	
	E90	24.6	18.6	30.6	
	E110	31.2	23.4	38.4	
	E130	37.8	28.2	46.8	
日本柳杉	E150	44.4	33.0	55.2	
	E50	19.2	14.4	24.0	
	E70	23.4	17.4	29.4	
	E90	28.2	21.0	34.8	
	E110	32.4	24.6	40.8	
	E130	37.2	27.6	46.2	
	E150	41.4	31.2	51.6	

注：本表根据《锯材日本农林标准》制作

主要树种结构用无等级材的标准强度

树种		标准强度(N·mm ⁻²)			
		抗压	抗拉	抗弯	抗剪
针叶树	赤松、黑松、花旗松	22.2	17.7	28.2	2.4
	日本落叶松、日本罗汉柏、日本扁柏、美国扁柏	20.7	16.2	26.7	2.1
	铁杉、西部铁杉	19.2	14.7	25.2	2.1
	冷杉、长白鱼鳞云杉、库页冷杉、红松、日本柳杉、北美乔柏、云杉	17.7	13.5	22.2	1.8
	小叶青冈	27.0	24.0	38.4	4.2
阔叶树	栗木、栎木、水青冈、榉木	21.0	18.0	29.4	3.0

注：本表根据《锯材日本农林标准》制作

日本集成材的强度等级

集成材是按照一定的制造标准将经过人工干燥并去除了较大的木节、开裂等木材缺陷的单板或层板等平行于木材纤维方向在厚度、宽度、长度方向胶粘压合而成的一种材料。按其用途分为结构用集成材（用于柱、横梁、纵梁、弯曲梁等荷载构件的加工。可按断面积分为大、中、小断面集成材。）、装饰结构用集成材（在结构用集成材的表面沿木材纤维方向或其垂直方向胶粘了规定厚度的装饰用单板或薄板。主要用于“明柱墙”，即在室内显露出兼具装饰效果的柱、梁等构件的结构装饰样式。）、非结构用集成材（用于室内非结构用构件或木制品的加工）、装饰非结构用集成材（在非结构用集成材的表面沿木材纤维方向或其垂直方向胶粘了规定厚度的装饰用单板或薄板等。用于室内装饰用构件的加工）四类。

结构用集成材还可按其单板或层板的组合分为同等级组合集成材、异等级组合集成材（异等级对称组合集成材、异等级非对称组合集成材）。异等级对称组合集成材主要用于梁等抗弯构件，而同等级组合集成材则主要用于柱等抗压构件。

为了“适所适用”集成材，按其对环境使用环境的适应性把集成材划分为使用环境 1 类集成材、使用环境 2 类集成材。前者耐候性好，可长期地使用于外露部分或潮湿环境。后者作为荷载构件，其耐候性满足通常要求。

日本农林水产省在JAS集成材标准中详细规定了集成材的定义、质量标准、强度性能、单板的强度等级区分、单板构成、试验方法、产品质量表示方法等。结构用集成材的强度等级请参见表1-表8。

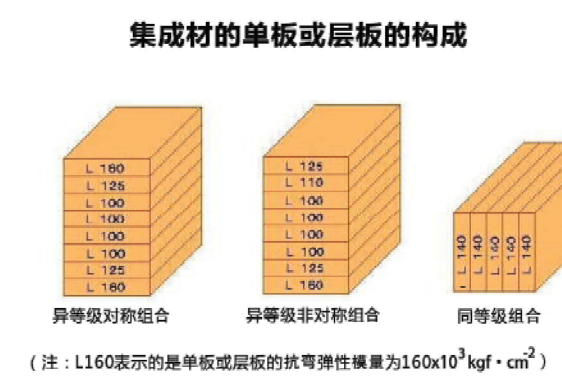


表 1 对称异等级组合集成材的标准强度				
强度等级	标准强度 (N·mm ⁻²)			
	抗压强度 F_c	抗拉强度 F_t	抗弯强度 F_b	
			组坯胶粘方向 F_{bx}	层板材宽方向 F_{by}
E170-F495	38.4	33.5	$49.5 \times C_1$	35.4
E150-F435	33.4	29.2	$43.5 \times C_1$	30.6
E135-F375	29.7	25.9	$37.5 \times C_1$	27.6
E120-F330	25.9	22.4	$33.0 \times C_1$	24.0
E105-F300	23.2	20.2	$30.0 \times C_1$	21.6
E95-F270	21.7	18.9	$27.0 \times C_1$	20.4
E85-F255	19.5	17.0	$25.5 \times C_1$	18.0
E75-F240	17.6	15.3	$24.0 \times C_1$	15.6
E65-F225	16.7	14.6	$22.5 \times C_1$	15.0
E65-F220	15.3	13.4	$22.0 \times C_1$	12.6
E55-F200	13.3	11.6	$20.0 \times C_1$	10.2

注：C₁为异等级组合集成材的抗弯标准强度的厚度方向边长调整系数，见表5。

表 2 特定对称异等级组合集成材的标准强度				
强度等级	标准强度 (N·mm ⁻²)			
	抗压强度 F_c	抗拉强度 F_t	抗弯强度 F_b	
			组坯胶粘方向 F_{bx}	层板材宽方向 F_{by}
ME120-F33	20.2	17.6	$33.0 \times C_1$	12.7
ME105-F30	17.9	15.6	$30.0 \times C_1$	11.7
ME95-F270	16.6	14.5	$27.0 \times C_1$	11.1
ME85-F255	15.9	13.9	$25.5 \times C_1$	11.0

表 3 非对称异等级组合集成材的标准强度					
强度等级	标准强度 (N·mm ⁻²)				
	抗压强度 F_c	抗拉强度 F_t	抗弯强度 F_b		
			组坯胶粘方向 F_{bx}	层板材宽方向 F_{by}	
E160-F480	36.5	31.8	$48.0 \times C_1$	$34.5 \times C_1$	31.8
E140-F420	31.7	27.7	$42.0 \times C_1$	$28.5 \times C_1$	27.0
E125-F360	28.2	24.6	$36.0 \times C_1$	$25.5 \times C_1$	24.0
E110-F315	24.5	21.3	$31.5 \times C_1$	$24.0 \times C_1$	21.6
E100-F285	22.1	19.3	$28.5 \times C_1$	$22.5 \times C_1$	19.2
E90-F255	20.7	18.1	$25.5 \times C_1$	$21.0 \times C_1$	18.0
E80-F240	18.5	16.2	$24.0 \times C_1$	$19.5 \times C_1$	15.0
E70-F225	16.6	14.5	$22.5 \times C_1$	$18.0 \times C_1$	13.8
E60-F210	15.7	13.7	$21.0 \times C_1$	$16.5 \times C_1$	13.2
E60-F205	14.3	12.5	$20.5 \times C_1$	$16.0 \times C_1$	10.8
E60-F170	12.2	12.2	$17.0 \times C_1$	$14.0 \times C_1$	8.4

表 4 同等级组合集成材的标准强度

层板的组数	强度等级	标准强度 (N·mm ⁻²)		
		抗压强度 F_c	抗拉强度 F_t	抗弯强度 F_b
4 张以上	E190-F615	50.3	43.9	$61.5 \times C_2$
	E170-F540	44.6	38.9	$54.0 \times C_2$
	E150-F465	39.2	34.2	$46.5 \times C_2$
	E135-F405	33.4	29.2	$40.5 \times C_2$
	E120-F375	30.1	26.3	$37.5 \times C_2$
	E105-F345	28.1	24.5	$34.5 \times C_2$
	E95-F315	26.0	22.7	$31.5 \times C_2$
	E85-F300	24.3	21.2	$30.0 \times C_2$
	E75-F270	22.3	19.4	$27.0 \times C_2$
	E65-F255	20.6	18.0	$25.5 \times C_2$
3 张	E55-F225	18.6	16.2	$22.5 \times C_2$
	E190-F555	45.8	40.3	$55.5 \times C_2$
	E170-F495	40.5	35.6	$49.5 \times C_2$
	E150-F435	35.6	31.4	$43.5 \times C_2$
	E135-F375	30.4	26.7	$37.5 \times C_2$
	E120-F330	27.4	24.1	$33.0 \times C_2$
	E105-F300	25.5	22.4	$30.0 \times C_2$
	E95-F285	23.6	20.8	$28.5 \times C_2$
	E85-F270	22.1	19.5	$27.0 \times C_2$
	E75-F255	20.3	17.8	$25.5 \times C_2$
2 张	E65-F240	18.8	16.5	$24.0 \times C_2$
	E55-F225	16.9	14.9	$22.5 \times C_2$
	E190-F510	45.8	36.6	$51.0 \times C_2$
	E170-F450	40.5	32.4	$45.0 \times C_2$
	E150-F390	35.6	28.5	$39.0 \times C_2$
	E135-F345	30.4	24.3	$34.5 \times C_2$
	E120-F300	27.4	21.9	$30.0 \times C_2$
	E105-F285	25.5	20.4	$28.5 \times C_2$
	E95-F270	23.6	18.9	$27.0 \times C_2$
	E85-F255	22.1	17.7	$25.5 \times C_2$
1 张	E75-F240	20.3	16.2	$24.0 \times C_2$
	E65-F225	18.8	15.0	$22.5 \times C_2$
	E55-F200	16.9	13.5	$20.0 \times C_2$
	E45-F180	15.0	12.0	$18.0 \times C_2$

注：C₂为同等级组合集成材的抗弯标准强度的厚度方向边长调整系数，见表6。

表 5 异等级组合集成材的抗弯标准强度的厚度方向边长调整系数 C₁

边长 (mm)	调整系数	边长 (mm)	调整系数	边长 (mm)	调整系数
100 以下	1.13	450 超 600 以下	0.93	1350 超 1500 以下	0.84
100 超 150 以下	1.08	600 超 750 以下	0.91	1500 超 1650 以下	0.83
150 超 200 以下	1.05	750 超 900 以下	0.89	1650 超 1800 以下	0.82
200 超 250 以下	1.02	900 超 1050 以下	0.87	1800 超	0.80
250 超 300 以下	1.00	1050 超 1200 以下	0.86		
300 超 450 以下	0.96	1200 超 1350 以下	0.85		

表 6 同等级组合集成材的抗弯标准强度的厚度方向边长调整系数 C₂

边长 (mm)	调整系数	边长 (mm)	调整系数
100 以下	1.00	200 超 250 以下	0.90
100 超 150 以下	0.96	250 超 300 以下	0.89
150 超 200 以下	0.93	300 超	0.85

表 7 集成材的抗剪标准强度

树 种	标准强度 (N·mm ⁻²)	
	组坯胶粘方向 F_{vx}	层板材宽方向 F_{vy}
色木槭、桦木、水青冈、大叶栎、榉木、克隆木	4.8	4.2
水曲柳、水楸、榆木	4.2	3.6
日本扁柏、日本罗汉柏、日本落叶松、赤松、黑松、美国扁柏、兴安落叶松林、南方松、花旗松、澳洲柏	3.6	3.0
铁杉、阿拉斯加扁柏、红松、辐射松、西部铁杉	3.3	2.7
日本冷杉、库页冷杉、鱼鳞云杉、铁冷杉、北美云杉、扭叶松、美国黄松、欧洲赤松、北美短叶松、柳安	3.0	2.4
日本柳杉、北美乔柏	2.7	2.1

若剪切面含有拼板未评价的层板的结构用集成材，其抗剪标准强度应为：表中数值×0.6

表 8 集成材的横纹承压标准强度

树 种	标准强度(N·mm ⁻²)
色木槭、桦木、水青冈、大叶栎、榉木、克隆木、水曲柳、水楸、榆木	10.8
赤松、黑松、兴安落叶松林、南方松、花旗松、澳洲柏、柳安	9.0
日本扁柏、日本罗汉柏、日本落叶松、美国扁柏	7.8
铁杉、阿拉斯加扁柏、红松、辐射松、西部铁杉、日本冷杉、库页冷杉、鱼鳞云杉、铁冷杉、北美云杉、扭叶松、美国黄松、欧洲赤松、日本柳杉、北美乔柏、北美短叶松	6.0

JAS与木材的耐久性

在对木结构建筑或室内外用各种木材制品进行结构设计和材料选择时，选用耐久性能较好的木材非常重要。木材与非木质材料不同，它本身具有的天然耐久性能因树种不同而异。人们往往误认为强度高的木材具有较好的耐久性能，其实木材的强度与耐久性能并没有直接的相关性。

主要树种的耐蚁性能等级 (按白蚁的侵害程度划分)	
耐蚁性能	主要树种 (心材)
高	日本罗汉柏、日本金松、罗汉松、蚊母树、红楠、日本榿树、红桧、台湾杉、紫檀、非洲紫檀、柚木
中	日本扁柏、日本柳杉、铁杉、美国扁柏、栗木、樟木、连香树、榉木、日本七叶树、栓皮栎、重红婆罗双、黑胡桃木、白栎
低	热带以外地区产木材的边材、日本冷杉、长白鱼鳞云杉、库页冷杉、日本落叶松、赤松、辐射松、西部铁杉、北美乔柏、花旗松、刺楸、水青冈

出典：日本建筑学会

从上表可知，日本罗汉柏与紫檀、柚木等同属耐蚁性高的树种群。日本扁柏、日本柳杉与铁杉、美国扁柏、樟木、榉木、黑胡桃木等同属耐蚁性中等的树种群。日本落叶松与赤松、辐射松、西部铁杉、北美乔柏、花旗松等同属耐蚁性较低的树种群。

JAS对结构用针叶材 锯材耐久性能分类	
心材的耐久性能分类	树 种
D1	日本扁柏、日本罗汉柏、日本柳杉、日本落叶松、美国扁柏、北美乔柏、阿拉斯加花柏、花旗松、兴安落叶松、澳洲柏
D2	D1以外的其它树种

出典：日本建筑学会

对于结构用针叶材锯材的耐久性能，JAS锯材标准分别从树种和木材使用环境角度进行了分类。根据心材的天然耐久性能不同，将树种分为耐久性D1类树种和耐久性D2类树种两大类。D1类树种的天然耐久性能优于D2类树种。对于集成材用树种的耐久性能，JAS集成材标准没有规定，而在国土交通省告示第1346号中，规定了集成材的耐久性能通过其构成单板或层板的树种属于D1类还是D2类（参照上表）进行评价。

主要树种的耐腐性能等级 (按腐朽菌对木材的劣化程度划分)	
耐腐性能	主要树种 (心材)
很高	斯温漆木、低垂坡垒、柚木、雷德胶木、重红婆罗双、菲律宾坡垒木
高	日本扁柏、日本花柏、日本罗汉柏、日本香柏、东北红豆杉、日本榿树、日本金松、榉木、栗木、日本厚柏、美国扁柏、阿拉斯加花柏、北美乔柏、北美红杉、桃花心木
中	日本柳杉、日本落叶松、蜈蚣柏、连香树、麻栎、粗齿蒙古栎、青桐、红楠、花旗松、白橡木、浅红柳桉、红婆罗双、山樟
低	赤松、黑松、冷杉、榉木、枹栎、栓皮栎、水曲柳、尖锐栎、北美乔松、西部铁杉、山胡桃木、桃花心木、克隆木
很低	日本云杉、长白鱼鳞云杉、库页冷杉、山桐子、樟木、白栎树、刺楸、象蜡树、云杉、北美冷杉、辐射松、贝壳杉、朴木、拉敏木

出典：日本建筑学会

从上表可知，日本扁柏、日本罗汉柏与美国扁柏、阿拉斯加花柏、北美乔柏、北美红杉、桃花心木等同属耐腐朽性能高的树种群。日本柳杉、日本落叶松与红楠、花旗松、白橡木、浅红柳桉、红婆罗双、山樟等同属耐腐朽性能中等的树种群而优于赤松、冷杉、榉木、西部铁杉、云杉、辐射松等市场上常见树种。

根据使用环境对防腐防蚁处理木材耐久性能进行的分类	
耐久性能分类	木材的使用环境
K1	在室内干燥条件下，无腐朽、蚁害发生的场所，仅对于干燥性害虫有防治效果。
K2	在低温并且腐朽、蚁害发生可能性小的条件下，可望具有很好的耐久性能。
K3	在可能产生腐朽、蚁害的通常条件下，可望具有很好的耐久性能。
K4	在可能产生腐朽、蚁害较通常条件显著的条件下，可望具有很好的耐久性能。
K5	在腐朽、蚁害产生可能性极大的条件下，可望具有很好的耐久性能。

出典：《日本木材工业手册》（修订4版）

根据使用环境不同，将经防腐处理木材的耐久性能分为K1、K2、K3、K4、K5五个等级（见上表）。由于处理木材能否达到相应的耐久性能等级与处理药剂在木材中的渗透深度和处理木材的载药量密切相关，为此，JAS锯材标准详细规定了处理木材的载药量。

日本木材耐久性处理技术

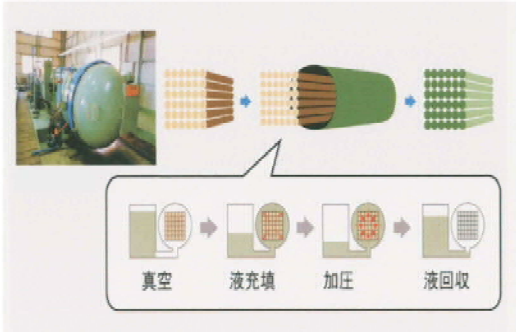
防腐防蚁药剂处理

使用防腐药剂对木材进行防腐、防蚁处理的方法有两种：表面处理、加压处理。

（1）表面处理

根据日本建筑标准法规定，有些建筑构件可通过喷涂、刷涂、浸泡等方式将防腐药剂涂覆在木材表面，防腐药剂要达到使用量为300ml·m⁻²、吸药量110g·m⁻²。表面处理方式可在施工现场操作，方便、快捷，但是由于药剂的透入度及吸药量有限，很难达到一些重要木构件对防腐效果的要求，这时一定要采用正确的加压式保存方式对木制品进行防腐处理。

（2）加压式保存处理



加压处理工艺

标准依据：根据JIS（日本工业标准，Japanese Industrial Standard）A9002处理
处理方法：在密闭容器内通过压力将防腐药剂注入木材。
药剂：使用JIS K1570规定的药剂
药剂的性能试验方法及基准：JIS K1571标准中规定了药剂防腐性能测试方法、防蚁性能测试方法、铁腐蚀性测试方法。



室内培养皿实验



野外试验

品质标准：处理后的木制品符合JAS规定。以采用D1类树种、ACQ防腐药剂为例，耐久性能要达到K4级，合格品的标准是药剂(ACQ)的载药量在 5.2 kg·m⁻³以上、边材部分的透入度为80%以上，并且从表面向内10mm以内的心材部分的透入度为80%以上。



土床实验



防蚁实验

防腐剂在木材中透入度的规定

性能区分	树种区分	透入度的标准
K1	针叶树	边材部分的透入度在90%以上
K2	耐久性D1的树种	边材部分的透入度在80%以上，而且从材料表面向内10mm以内的心材部分的透入度在20%以上
	耐久性D2的树种	边材部分的透入度在80%以上，而且从材料表面向内10mm以内的心材部分的透入度在80%以上
K3	所有树种	边材部分的透入度在80%以上，而且从材料表面向内10mm以内的心材部分的透入度在80%以上
K4	耐久性D1的树种	边材部分的透入度在80%以上，而且从材料表面向内10mm以内的心材部分的透入度在80%以上
	耐久性D2的树种	边材部分的透入度在80%以上，而且从材料表面向内15mm以内（厚度超过90mm的制材，深度为20mm以内）的心材部分的透入度在80%以上
K5	全部树种	边材部分的透入度在80%以上，而且从材料表面向内15mm以内（厚度超过90mm的制材，深度为20mm以内）的心材部分的透入度在80%以上

出典：《日本木材保存手册》（2005年修订版）

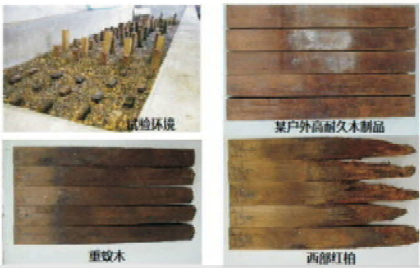
深层炭化处理技术

深层炭化处理技术是不使用化学药剂，只利用热量和水蒸气或热导油等不同介质进行的一种热处理技术。炭化木具有尺寸稳定性好、防腐、色泽高雅、安全环保等特点，可用于室内外的很多场所。但是由于处理技术不同，产品的品质也有所不同，如下图所示，由于处理温度不同，炭化木的防腐性能差异很大。试验结果显示，在一定处理温度范围内，温度越高，炭化木的尺寸稳定性及耐久性就越好。因为处理温度是产品品质的决定因素，这也是市场上出现质量良莠不齐的炭化木产品的原因所在。



不同处理温度对炭化木的防腐性能的影响效果

另外，在日本还有一种户外高耐久木制品，它的防腐、防蚁性能优于很多防腐木和名贵的原木，而且最大的优点是尺寸稳定性（不易开裂、变形）和耐久性非常好。下图为试验结果，根据JIS K1571标准，经过11年（1994年-2005年）的土床试验，这种特殊的高耐久木制品基本完好无损。



高耐久技术处理的户外木制品

高性能室外用木制建材

在室外使用木制建材的过程中，常见变色、变形甚至腐烂、虫蚁害等等，导致这种现象和结果的原因或是不合理、不科学的使用，或是产品性能与使用环境不匹配，或是所用木制建材的性能不合格、或是多种原因的复合叠加所致。

在长期的木材利用中，日本高端的木材加工技术、高度的木材利用水平和合理的木材使用方法造就了众多的高品质、高效效、高附加价值的室外用木制建材产品。

深层炭化木

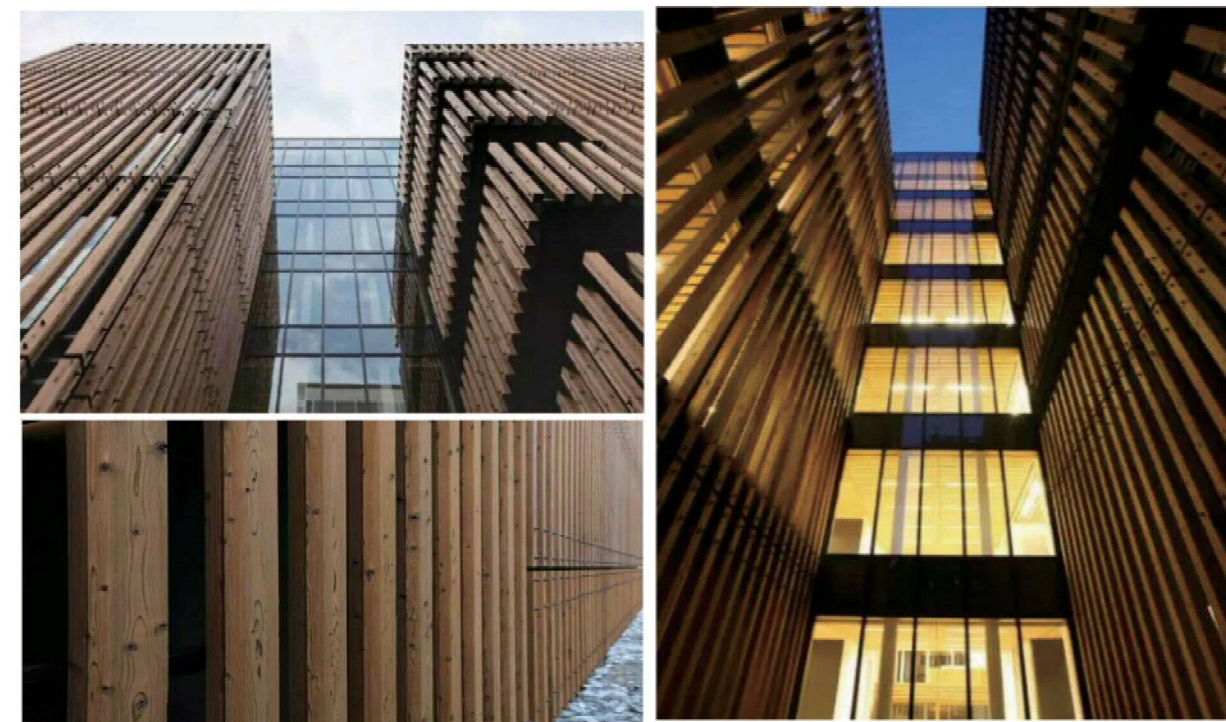
深层炭化处理技术是不使用化学药剂、只利用热量和水蒸气或热导油等介质进行木材热处理的高端技术。应用该技术生产的深层炭化木具有良好的防腐抗蚁性和尺寸稳定性、色泽高雅、安全环保无污染、强度符合装饰用标准等特点，用途广泛。



阳台·回廊地板和栏杆扶手采用了深层炭化处理的日本桧木，在满足耐久性能的同时给人以柔和的视觉享受。



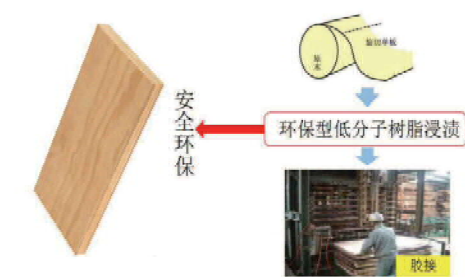
火车站（JR长野站）的吊顶、立柱使用了深层炭化处理·防腐处理日本柳杉材，既满足了长期耐久的性能要求又达到了木材装饰大型建筑物的视觉美观效果。



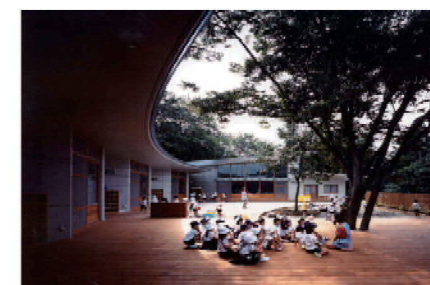
利用日本柳杉的材质，经过深层炭化处理的外墙木格栅丰富了建筑立面的层次感和多种墙面材料的肌理对比。

PL户外用木制品

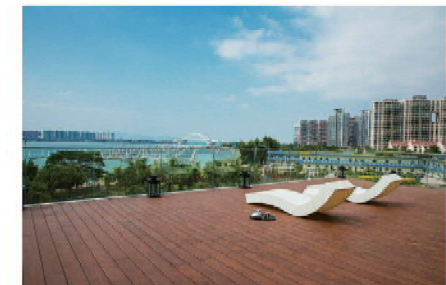
以环保型低分子树脂浸渍单板胶粘热压而成的高技术建材所制作的PL户外木地板具有高度的耐久性能和尺寸稳定性且几乎不会出现毛刺等瑕疵，非常适用于户外环境，广受高端消费市场的推崇。



PL户外木地板生产工艺



诚意幼儿园（神奈川）



厦门·恒禾七尚

高品质室内装饰木制品

近年来人们日益认识到室内木材对身心的健康增进效果，越发重视室内的木材使用。在长期的木材利用之中，基于精益求精的工匠精神，使用来自可持续森林的木材、日本高端的木材加工技术、高度的木材利用水平和合理的木材使用方法造就了众多的高品质、高功效、高附加价值的室内装饰木制产品。

结构和装饰功能的兼备

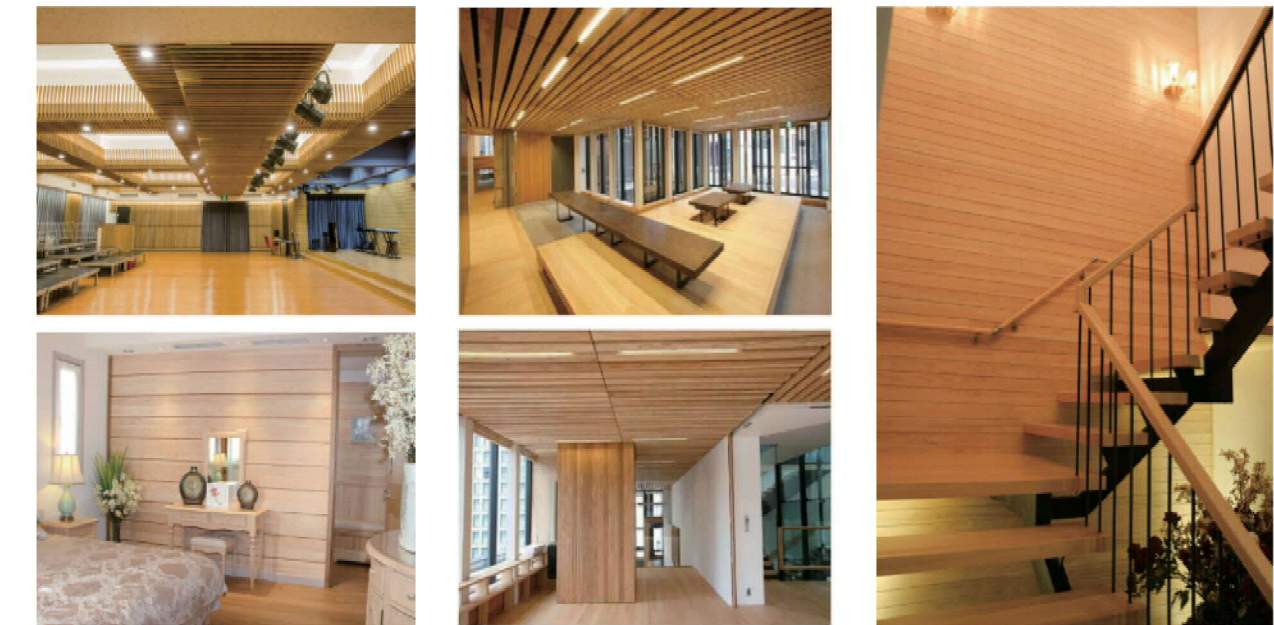
日本木结构建筑的主要构件既是构造部品又是装饰部品，完美地同时实现了结构上的强度性能和室内装饰功能的高度统一。



兼备结构和装饰功能的日本产室内装饰木制品利用案例

重视健康增进效果的日本木制产品

具有调湿功能的日本柳杉、日本桧木内墙板、天花板、地板等室内装饰木制品用于建筑内部，可以构筑有益身心的舒适、健康、温馨的居住环境。



日本木材内墙板、天花板、地板利用案例

高价值的日本木材高档家具

使用日本桧木、日本柳杉、榉木、银杏、樱花木、日本七叶树等定制的高档家具独具一格，兼具欣赏、增值、益身多重功能。



日本木材高档家具利用案例

良材精制的和式空间

象征日本传统木居文化的和室、茶室、地炉、日式格子门窗等构成的“和式空间”，令人摆脱尘事、心静神安、养精蓄锐。



使用日本桧木、柳杉精心制作的和室、茶室案例