

薬師寺東塔における地垂木（ヒノキ）、大斗（ケヤキ）の材料試験

- 種別：(材料試験)(木材)・煉瓦・鉄・コンクリート・その他]、重量測定、
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面（床・天井・小屋組・屋根）・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面（床・天井・小屋組・屋根）・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：薬師寺東塔

文化財種別（指定年月日）：特別保護建造物（明治 30 年 12 月 28 日）

国宝（昭和 26 年 12 月 9 日）

所在地：奈良県奈良市

所有者（管理団体）：宗教法人 薬師寺

構造形式：三間三重塔婆、每重もこし附、本瓦葺

建築年：奈良時代（天平 2 年（730）頃建て始め）

事業名称：国宝薬師寺東塔保存修理事業

事業期間：平成 21 年 7 月～平成 33 年 3 月

工事種別：解体修理

事業者：宗教法人 薬師寺

設計監理：奈良県文化財保存事務所

実験計画者：清水建設株式会社

実験機関：同技術研究所

実験年月日：平成 26(2014)年 3 月 6 日-3 月 7 日

引用・参考文献：

- 1) 日本建築学会木質構造設計規準・同解説（1995 年）4 章
- 2) 建築基準法に基づく告示 平成 12 年 建設省告示 1452 号 第六
- 3) 東洋書店 木材・木質材料学（1999 年）付録

●実験に至る経緯と目的

構造診断業務の中で、組物と軒廻りの強度を評価するためにサンプル試験を実施した。
これにより古材の経年劣化の推定検証と再用の妥当性を確認する。

● 姿図・寸法

【使用材料】

縦圧縮試験体	$l*w*h=60*30*30(\text{mm})$
部分圧縮試験体	$l*w*h=100*30*30(\text{mm})$
曲げ試験体	$l*w*h=480*30*30(\text{mm})$
せん断試験体	$l*w*h=40*30*30(\text{mm})$

表 1. 1 および表 1. 2 に試験体の一覧を示す。

1902 薬師寺東塔における地垂木（ヒノキ）、大斗（ケヤキ）の材料試験
文化財建造物構造実験データ集

表 1. 1 試験体一覧（1）

試験種別	No.	載荷面	採取個所			樹種	備考
縦圧縮試験	1-1-a	木口	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	1-1-b	木口	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	1-1-c	木口	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	2-1-a	木口	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	2-1-b	木口	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	2-1-c	木口	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	3-1-a	木口	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	3-1-b	木口	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	3-1-c	木口	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	4-1-a	木口	地垂木	二重	西面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-1-b	木口	地垂木	二重	東面南より 18	ヒノキ	明治材
	4-1-c	木口	地垂木	二重	北面西より 25	ヒノキ	明治材
部分圧縮試験	1-2-a	板目	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	1-2-b	板目	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	1-2-c	桁目	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	1-2-d	桁目	地垂木	二重	西面南より 9	ヒノキ	
	2-2-a	板目	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	2-2-b	板目	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	2-2-c	桁目	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	2-2-d	桁目	地垂木	二重	東面南より 34	ヒノキ	
	3-2-a	板目	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	3-2-b	板目	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	3-2-c	桁目	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	3-2-d	桁目	大斗	三重	ろ二	ケヤキ	
	4-2-a	板目	地垂木	二重	東面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-2-b	板目	地垂木	二重	西面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-2-c	桁目	地垂木	二重	東面南より 18	ヒノキ	明治材
	4-2-d	桁目	地垂木	二重	北面西より 25	ヒノキ	明治材

表 1. 2 試験体一覧（2）

試験種別	No.	載荷面	採取個所			樹種	備考
曲げ試験	4-3-a	板目			東面南より 18	ヒノキ	明治材
	4-3-b	板目			東面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-3-c	桁目			西面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-3-d	桁目			北面南より 25	ヒノキ	明治材
せん断試験	4-4-a	板目	地垂木	二重	東面南より 18	ヒノキ	明治材
	4-4-b	板目	地垂木	二重	西面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-4-c	板目	地垂木	二重	北面西より 25	ヒノキ	明治材
	4-5-a	桁目	地垂木	二重	東面南より 18	ヒノキ	明治材
	4-5-b	桁目	地垂木	二重	西面南より 25	ヒノキ	明治材
	4-5-c	桁目	地垂木	二重	北面西より 25	ヒノキ	明治材

備考に特記なきは当初材（天平 2 年（730）頃）。

【試験体寸法】

図1、図2、図3、図4に示す通り。

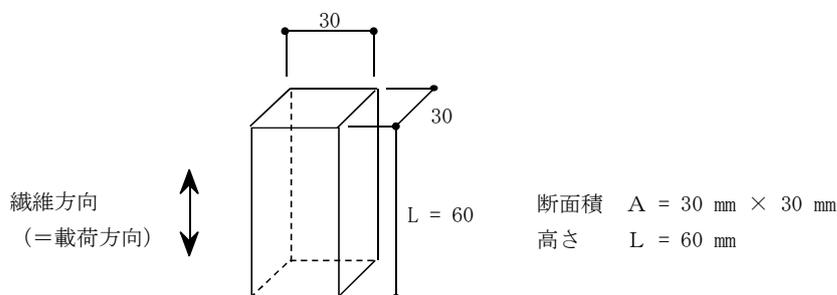


図1 縦圧縮試験体

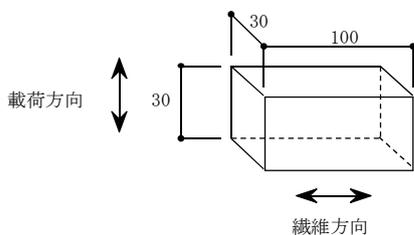


図2 部分圧縮試験体

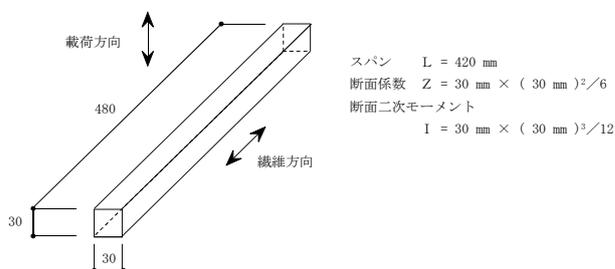


図3 曲げ試験体

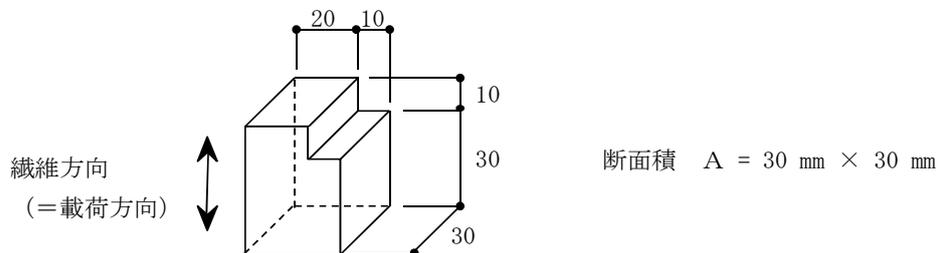


図4 せん断試験体

●概要

本試験では、薬師寺東塔改修工事にて交換する木材を用いて材料試験を実施し、材料定数

の確認を行なう。求められた材料定数は、東塔の骨組解析などに反映させる。

●実験方法

JIS Z2101-2009 に準拠した縦圧縮試験・せん断試験・曲げ試験・部分圧縮試験を行なう。各試験の概要は以下の通りである。

・縦圧縮試験

JIS Z2101-2009 に準拠して縦圧縮試験を行なう。試験体は図1に示したものをを用い、材の繊維方向に圧縮荷重をかける。荷重は清水建設（株）技術研究所多機能実験棟岩石ブロックの MTS 500 kN 万能試験機により載荷する。載荷点の鉛直方向変位は変位計（（株）東京測器 CDP50）により測定する。各試験体については、密度および含水率の測定も行なう。

・部分圧縮試験

JIS Z2101-2009 に準拠して部分圧縮試験を行なう。試験体は図2に示したものをを用い、図5に示すように載荷板を介して材の板目面または柁目面に荷重をかける。荷重は清水建設（株）技術研究所多機能実験棟岩石ブロックの MTS 500 kN 万能試験機により載荷する。載荷点の鉛直方向変位は変位計（（株）東京測器 CDP50）により測定する。各試験体については、密度および含水率の測定も行なう。

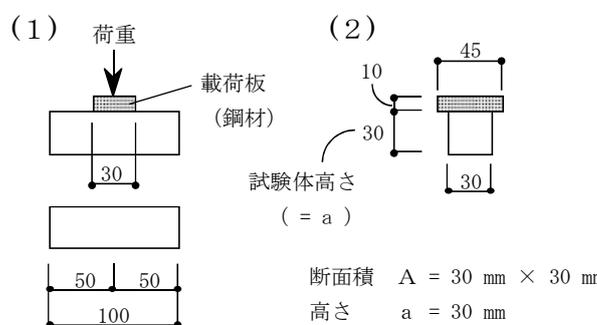


図5 部分圧縮試験の載荷方法

・曲げ試験

JIS Z2101-2009 に準拠して曲げ試験を行なう。試験体は図3に示したものをを用い、材の板目面または柁目面に荷重をかける。荷重は清水建設（株）技術研究所多機能実験棟岩石ブロックの MTS 500 kN 万能試験機により載荷する。載荷点は図6に示すように試験体の中央位置とし、載荷点の鉛直方向変位は変位計（（株）東京測器 CDP50）により計測する。各試験体については、密度および含水率の測定も行なう。

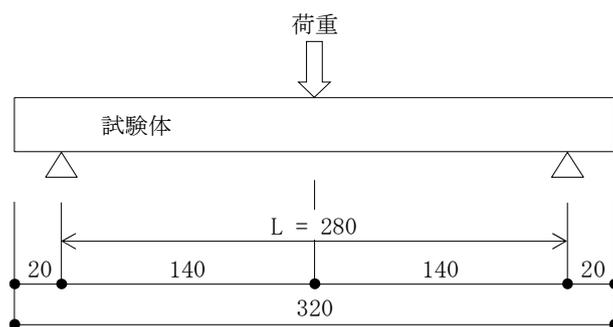


図6 曲げ試験の荷重方法

・せん断試験

JIS Z2101-2009 に準拠してせん断試験を行なう。試験体は図4に示したものを用い、せん断面が板目面または柁目面になるように木材のせん断試験用の治具を用いて荷重をかける。荷重は清水建設（株）技術研究所多機能実験棟岩石ブロックの MTS 500 kN 万能試験機により載荷する。各試験体については、密度および含水率の測定も行なう。

試験より求まる諸数値の算定方法は以下の通りとした。

[強さ, 比例限度, ヤング係数]

・縦圧縮試験（JIS Z2101-2009 によった）

図1および図7を参照して、以下の通りとした。

$$\text{縦圧縮強さ} = \frac{P_{\max}}{A}$$

$$\text{縦圧縮比例限度} = \frac{P_a}{A}$$

$$\text{縦圧縮ヤング係数} = \frac{\Delta Y / \Delta Y}{A/L}$$

ここに、

P_{\max} : 最大荷重

P_a : 比例限度荷重

A : 断面積（図1を参照）

L : 試験体高さ（図1を参照）

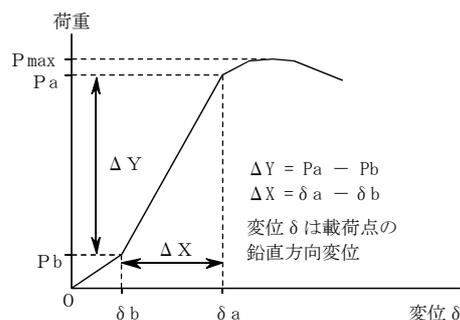


図7 縦圧縮試験より求まる荷重-変形関係の模式図

・部分圧縮試験（JIS Z2101-2009 によった）

図2、図5、図8を参照して、
以下の通りとした。

$$\begin{aligned} 5\% \text{部分圧縮強さ} &= \frac{P5}{A} \\ \text{部分圧縮比例限度} &= \frac{Pa}{A} \end{aligned}$$

$$\text{部分圧縮ヤング係数} = \frac{\Delta Y / \Delta Y}{A/a}$$

ここに、

P5 : 縮みが辺長（図5（2）のa）
の5%の時の荷重

Pa : 比例限度荷重

A : 断面積（図5（2）を参照）

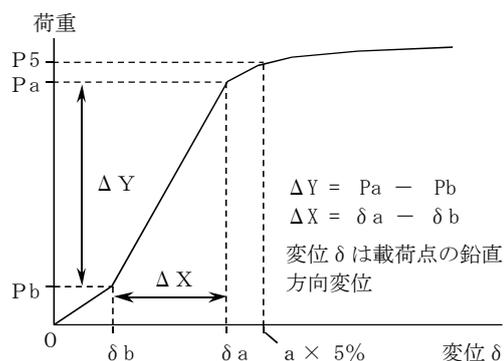


図8 部分圧縮試験より求まる荷重－変形
関係の模式図

・曲げ試験（JIS Z2101-2009 によった）

図3、図6、図9を参照して、
以下の通りとした。

$$\text{曲げ強さ} = \frac{P_{\max} \cdot L/4}{Z}$$

$$\text{曲げ比例限度} = \frac{Pa \cdot L/4}{Z}$$

$$\text{曲げヤング係数} = \frac{(\Delta Y / \Delta X) \cdot L^3}{48 \cdot I}$$

ここに、

Pmax : 最大荷重

Pa : 比例限度荷重

L : スパン（図6を参照）

Z : 断面係数（図3を参照）

I : 断面二次モーメント（図3を参照）

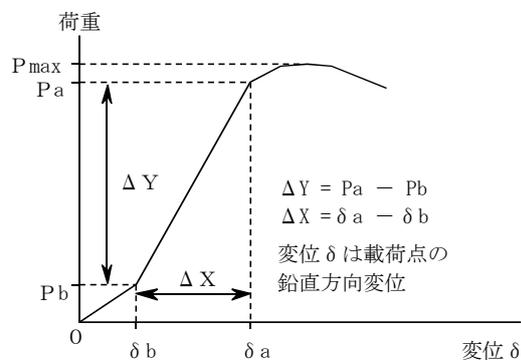


図9 曲げ試験より求まる荷重－変形関係
の模式図

・せん断試験（ JIS Z2101-2009 によった）

図 4 を参照して、以下の通りとした。

$$\text{せん断強さ} = \frac{P_{\max}}{A}$$

ここに、

P_{\max} : 最大荷重

A : 断面積（図 4 を参照）

[密度]

JIS Z2101-2009 に基づき以下の手順で算定した密度の値とした。

$$\text{密度} = W/V$$

ここに、W は試験時の試験体重量（g）、V は試験体の体積（cm³）である。

[含水率]

含水率計（株）ケット科学研究所 MT700）により測定した。

●物性値

表2に縦圧縮試験、表3に部分圧縮試験、表4に曲げ試験、表5にせん断試験の結果一覧をそれぞれ示す。表6にはこれらの値を平均した各部材の材料強度の一覧を示す。

本試験で取り扱った木材はすべて既存の建築物から取り出された古材であり、構造計算上は無等級材（日本農林規格(JAS)で規定されない製材）の扱いとなる。そこで、表7には、一般的なヒノキ、ケヤキの材料定数の参考資料として日本建築学会の木質構造設計規準〔参考文献1〕および、建築基準法に基づく告示〔参考文献2〕に示される無等級材の材料定数の値を示す。

また、表8には、別案件にて実施した材料試験による材料定数の例として、ヒノキの新材の材料定数の事例を示す。なお、参考文献1)の数値は、無欠点小試験体による試験結果（普通構造材の数値）から誘導されたもの、参考文献2)の数値は、参考文献1)の数値にばらつきと欠点を考慮した低減係数を掛けて算出された数値である。

表2 縦圧縮試験結果

樹種	試験体番号	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	縦圧縮強さ (N/mm ²)	縦圧縮比例限度 (N/mm ²)	縦圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)
ヒノキ	1-1-a	8.4	0.421	57.2	28.22	12.33
	1-1-b	8.6	0.418	56.9	27.25	12.30
	1-1-c	8.6	0.418	57.4	28.75	11.57
	平均	8.5	0.419	57.18	28.07	12.32
ヒノキ	2-1-a	8.6	0.360	39.79	22.92	7.35
	2-1-b	8.1	0.416	38.03	23.91	7.24
	2-1-c	7.7	0.366	40.61	17.99	6.54
	平均	8.1	0.381	39.48	21.61	7.04
ケヤキ	3-1-a	8.8	0.596	57.21	32.77	10.03
	3-1-b	7.9	0.604	58.45	32.42	10.18
	3-1-c	9.4	0.596	56.12	28.67	10.02
	平均	8.7	0.599	57.26	31.28	10.11
ヒノキ	4-1-a	7.3	0.486	56.32	31.71	9.60
	4-1-b	8.7	0.471	57.08	31.02	13.28
	4-1-c	7.6	0.493	54.07	29.17	10.81
	平均	7.9	0.483	55.82	30.63	11.23

表3 部分圧縮試験結果

樹種	試験体番号	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	5%部分圧縮強さ (N/mm ²)	部分圧縮比例限度 (N/mm ²)	部分圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)	
ヒノキ	板目面より 載荷	1-2-a	8.4	0.386	10.09	6.09	0.78
		1-2-b	8.8	0.393	10.44	6.27	1.05
		平均	8.6	0.389	10.26	6.18	0.91
	柁目面より 載荷	1-2-c	8.2	0.425	11.75	6.97	0.97
		1-2-d	8.1	0.381	8.18	4.94	0.71
		平均	8.1	0.403	9.97	5.96	0.84
ヒノキ	板目面より 載荷	2-2-a	8.9	0.364	8.27	5.10	1.00
		2-2-b	10.2	0.341	6.42	3.68	0.54
		平均	9.5	0.353	7.35	4.39	0.77
	柁目面より 載荷	2-2-c	10.1	0.34	7.70	5.39	0.57
		2-2-d	10.0	0.353	7.18	4.48	0.51
		平均	10.0	0.347	7.44	4.93	0.54
ケヤキ	板目面より 載荷	3-2-a	8.2	0.581	17.22	11.93	1.86
		3-2-b	8.2	0.582	16.54	11.52	1.70
		平均	8.2	0.582	16.88	11.73	1.78
	柁目面より 載荷	3-2-c	9.2	0.575	16.69	10.15	1.07
		3-2-d	8.2	0.573	15.15	9.15	1.18
		平均	8.7	0.574	15.92	9.65	1.12
ヒノキ	板目面より 載荷	4-2-a	9.0	0.475	11.91	7.50	1.09
		4-2-b	7.4	0.492	11.84	7.17	0.69
		平均	8.2	0.484	11.87	7.33	0.89
	柁目面より 載荷	4-2-c	8.6	0.439	8.24	4.99	0.42
		4-2-d	7.1	0.495	12.54	6.63	0.62
		平均	7.8	0.467	10.39	5.81	0.52

表4 曲げ試験結果

樹種	試験体番号	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	曲げ強さ (N/mm ²)	曲げ比例限度 (N/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	
ヒノキ	板目面より 載荷	4-3-a	7.3	0.453	83.32	43.23	10.25
		4-3-b	7.5	0.482	109.20	58.78	12.04
		平均	7.4	0.467	96.26	51.01	11.15
	柁目面より 載荷	4-3-c	7.5	0.461	88.09	43.17	9.81
		4-3-d	8.5	0.468	90.06	43.15	9.77
		平均	8.0	0.464	89.08	43.16	9.79

表5 せん断試験結果

樹種		試験体番号	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	せん断強さ (N/mm ²)
ヒノキ	せん断面が板目	4-4-a	8.0	0.480	13.32
		4-4-b	8.0	0.511	8.49
		4-4-c	7.4	0.523	14.08
		平均	7.8	0.505	11.96
	せん断面が柾目	4-5-a	8.6	0.470	8.33
		4-5-b	8.0	0.496	8.51
		4-5-c	7.7	0.513	10.94
		平均	8.1	0.493	9.26

表6. 1 各部材の材料強度一覧（ヒノキ）

試験		項目	単位	試験値
縦圧縮		強さ	(N/mm ²)	50.83
		比例限度	(N/mm ²)	26.77
		ヤング係数	(kN/mm ²)	10.11
部分圧縮	板目面より载荷	5%強さ	(N/mm ²)	9.83
		比例限度	(N/mm ²)	5.97
		ヤング係数	(kN/mm ²)	0.86
	柾目面より载荷	5%強さ	(N/mm ²)	9.27
		比例限度	(N/mm ²)	5.57
		ヤング係数	(kN/mm ²)	0.63
曲げ	板目面より载荷	強さ	(N/mm ²)	96.26
		比例限度	(N/mm ²)	51.01
		ヤング係数	(kN/mm ²)	11.15
	柾目面より载荷	強さ	(N/mm ²)	89.08
		比例限度	(N/mm ²)	43.16
		ヤング係数	(kN/mm ²)	9.79
せん断	せん断面が板目	強さ	(N/mm ²)	11.96
	せん断面が柾目	強さ	(N/mm ²)	9.26
含水率		—	(%)	8.3
密度		—	(g/cm ³)	0.438

※含水率・密度の値は、各試験の試験体すべての平均値とした。

表 6. 2 各部材の材料強度一覧（ケヤキ）

試験		項目	単位	試験値
縦圧縮		強さ	(N/mm ²)	57.26
		比例限度	(N/mm ²)	31.28
		ヤング係数	(kN/mm ²)	10.108
部分圧縮	板目面より載荷	5%強さ	(N/mm ²)	16.88
		比例限度	(N/mm ²)	11.73
		ヤング係数	(kN/mm ²)	1.784
	桁目面より載荷	5%強さ	(N/mm ²)	15.92
		比例限度	(N/mm ²)	9.65
		ヤング係数	(kN/mm ²)	1.125
曲げ	板目面より載荷	強さ	(N/mm ²)	—
		比例限度	(N/mm ²)	—
		ヤング係数	(kN/mm ²)	—
	桁目面より載荷	強さ	(N/mm ²)	—
		比例限度	(N/mm ²)	—
		ヤング係数	(kN/mm ²)	—
せん断	せん断面が板目	強さ	(N/mm ²)	—
	せん断面が桁目	強さ	(N/mm ²)	—
含水率		—	(%)	8.5
密度		—	(g/cm ³)	0.587

※含水率・密度の値は、各試験の試験体すべての平均値とした。

表 7 建設省告示および建築学会木質構造規準による材料定数

樹種	項目		建築学会木質構造規準 ¹⁾	建設省告示 ²⁾
ヒノキ	圧縮強度	(N/mm ²)	41.7	20.7
	曲げ強度	(N/mm ²)	73.5	26.7
	せん断強度	(N/mm ²)	7.8	2.1
	繊維方向ヤング係数	(kN/mm ²)	8.8	—
	繊維直交方向ヤング係数	(kN/mm ²)	0.35	—
ケヤキ	圧縮強度	(N/mm ²)	42.2	21.0
	曲げ強度	(N/mm ²)	83.4	29.4
	せん断強度	(N/mm ²)	10.8	3.0
	繊維方向ヤング係数	(kN/mm ²)	7.8	—
	繊維直交方向ヤング係数	(kN/mm ²)	0.31	—

1) 日本建築学会木質構造設計規準・同解説（1995年）4章（単位を重力単位から SI 単位に変換）

2) 建築基準法に基づく告示 平成 12 年 建設省告示 1452 号 第六表

表8 ヒノキの新材の材料定数の事例

試験		項目	単位	試験値
縦圧縮		強さ	(N/mm ²)	45.85
		比例限度	(N/mm ²)	27.8
		ヤング係数	(kN/mm ²)	5.733
部分圧縮	板目面より載荷	5%強さ	(N/mm ²)	10.05
		比例限度	(N/mm ²)	5.53
		ヤング係数	(kN/mm ²)	0.817
	柁目面より載荷	5%強さ	(N/mm ²)	7.44
		比例限度	(N/mm ²)	4.16
		ヤング係数	(kN/mm ²)	0.353
曲げ	板目面より載荷	強さ	(N/mm ²)	79.95
		比例限度	(N/mm ²)	41.61
		ヤング係数	(kN/mm ²)	8.711
	柁目面より載荷	強さ	(N/mm ²)	81.54
		比例限度	(N/mm ²)	40.65
		ヤング係数	(kN/mm ²)	8.513
せん断	せん断面が板目	強さ	(N/mm ²)	8.83
	せん断面が柁目	強さ	(N/mm ²)	7.83
含水率		—	(%)	9.0
密度		—	(g/cm ³)	0.44

●荷重変形

図 1 0 には縦圧縮試験の応力-ひずみ関係を、図 1 1 には部分圧縮試験の応力-ひずみ関係を、図 1 2 には曲げ試験の応力-変位関係をそれぞれ示す。

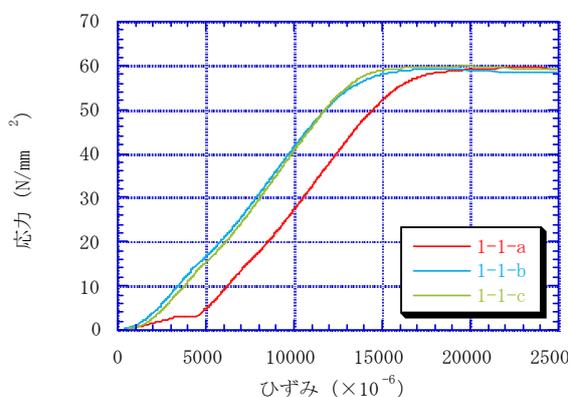


図 1 0. 1 : 縦圧縮試験の応力-ひずみ関係
(1-1-a,b,c)

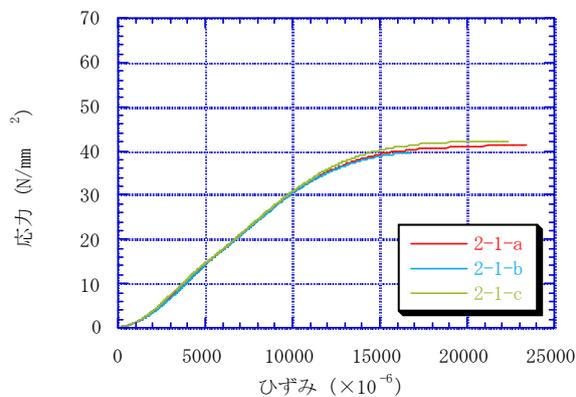


図 1 0. 2 : 縦圧縮試験の応力-ひずみ関係
(2-1-a,b,c)

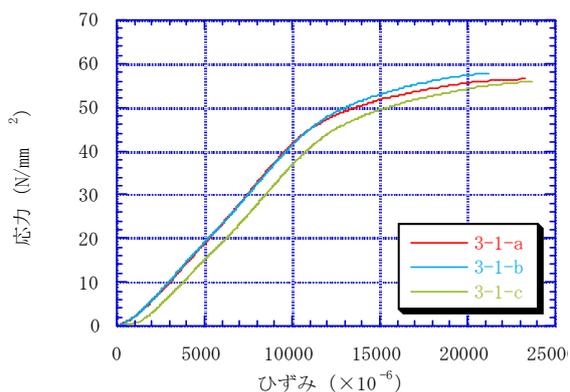


図 1 0. 3 : 縦圧縮試験の応力-ひずみ関係
(3-1-a,b,c)

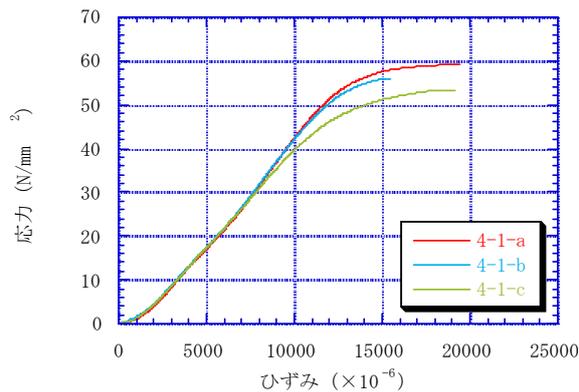


図 1 0. 4 : 縦圧縮試験の応力-ひずみ関係
(4-1-a,b,c)

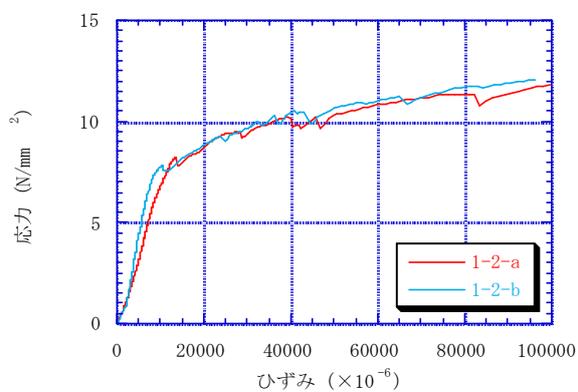


図 1 1. 1 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(1-2-a,b)

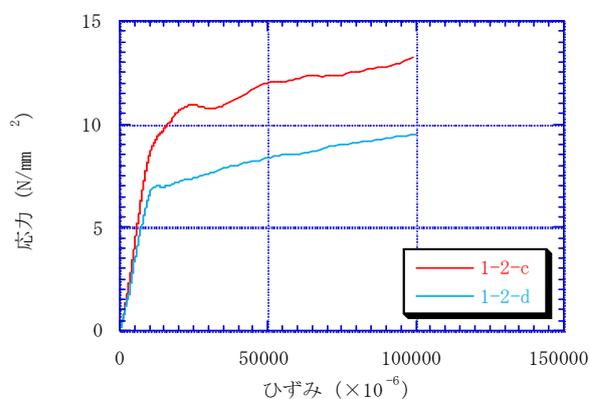


図 1 1. 2 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(1-2-c,d)

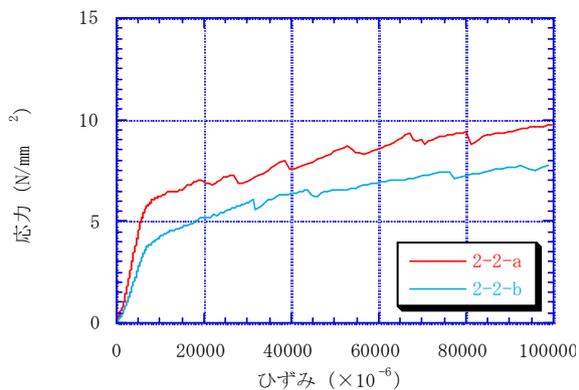


図 1 1. 3 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(2-2-a,b)

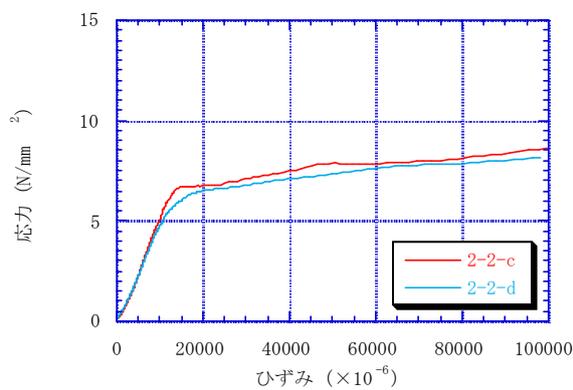


図 1 1. 4 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(2-2-c,d)

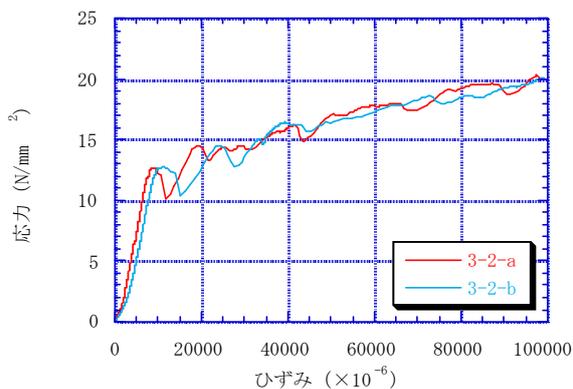


図 1 1. 5 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(3-2-a,b)

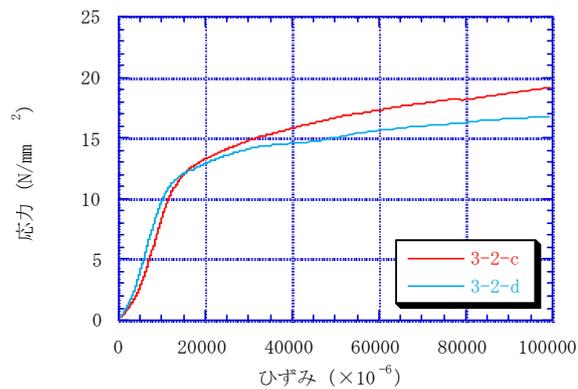


図 1 1. 6 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(3-2-c,d)

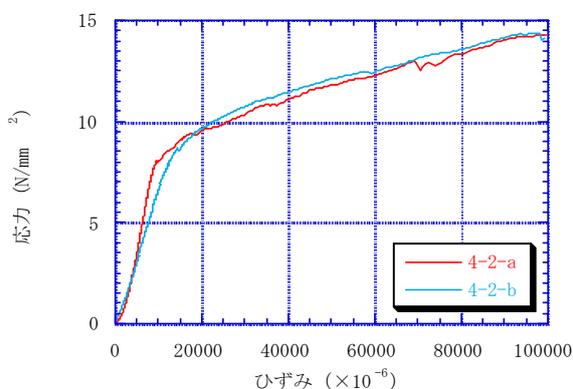


図 1 1. 7 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(4-2-a,b)

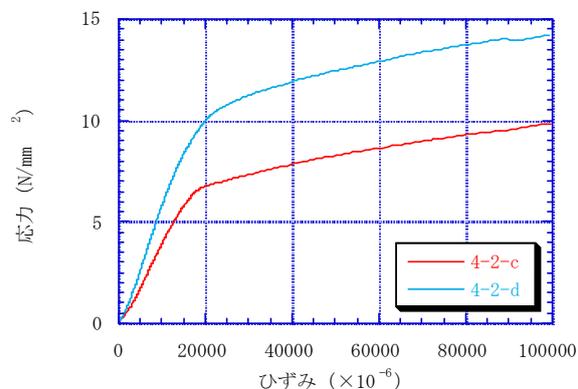


図 1 1. 8 : 部分圧縮試験の応力-ひずみ関係
(4-2-c,d)

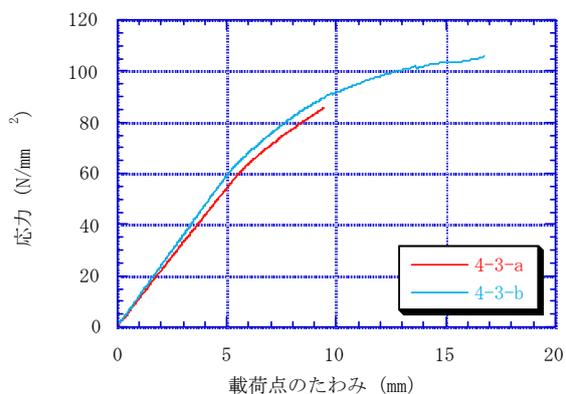


図 1 2. 1 : 曲げ試験の応力-変位関係
(4-3-a,b)

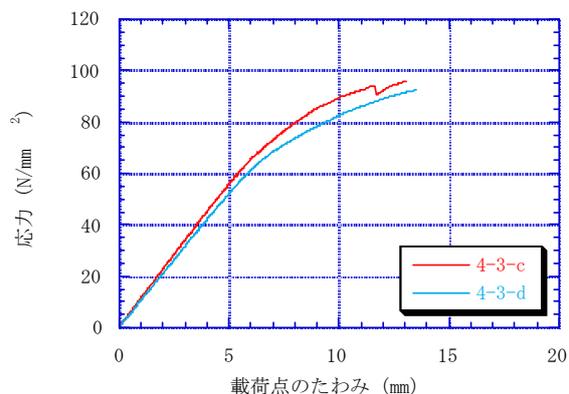
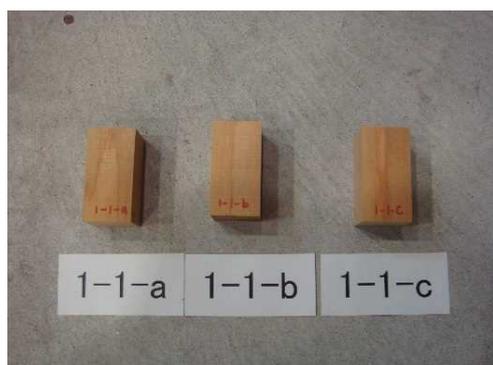


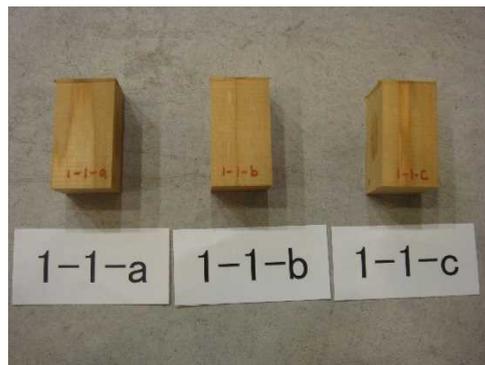
図 1 2. 2 : 曲げ試験の応力-変位関係
(4-3-c,d)

●破壊形状

写真 1～5 には各試験における破壊状況と試験の実施状況の写真を載せる。

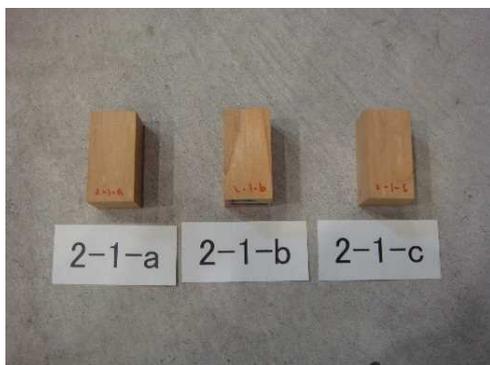


試験前

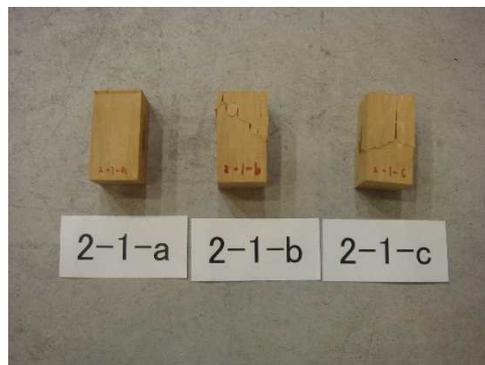


試験後

写真 1. 1 : 縦圧縮試験の破壊状況 (1-1-a, b, c,)

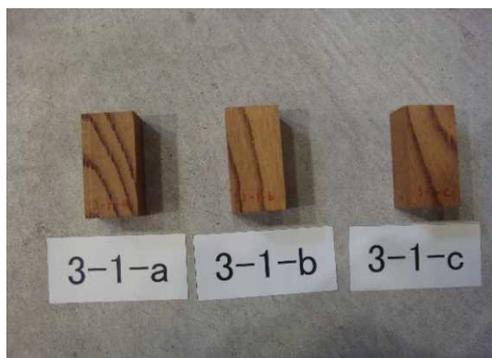


試験前

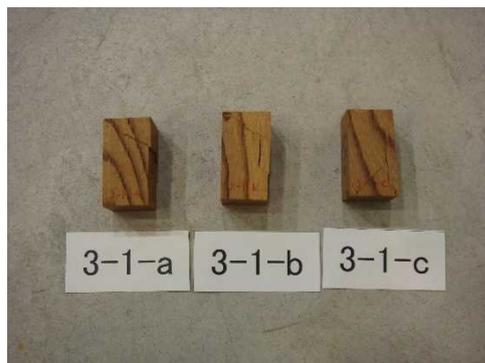


試験後

写真 1. 2 : 縦圧縮試験の破壊状況 (2-1-a, b, c,)

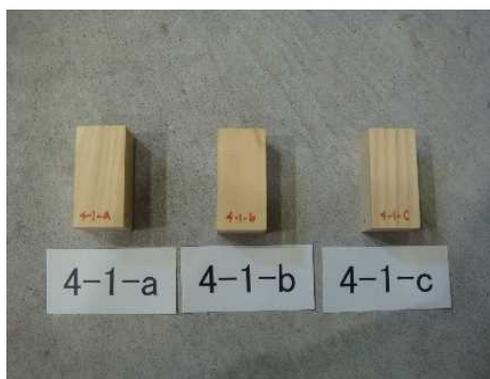


試験前

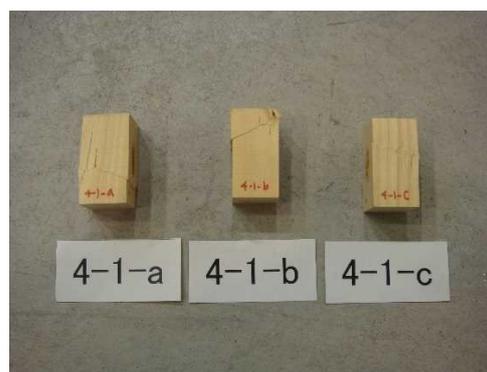


試験後

写真1. 3 : 縦圧縮試験の破壊状況(3-1-a, b, c,)

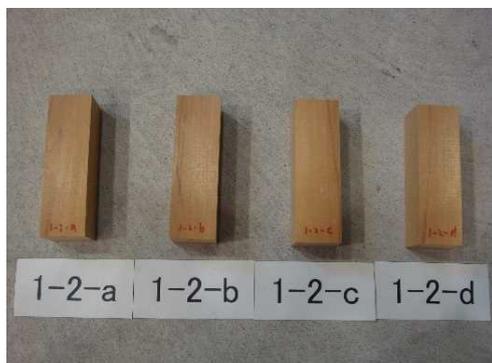


試験前

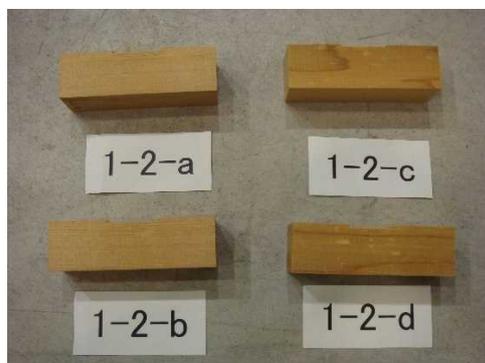


試験後

写真1. 4 : 縦圧縮試験の破壊状況(4-1-a, b, c,)

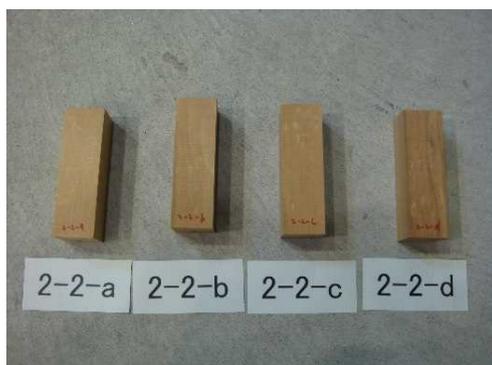


試験前

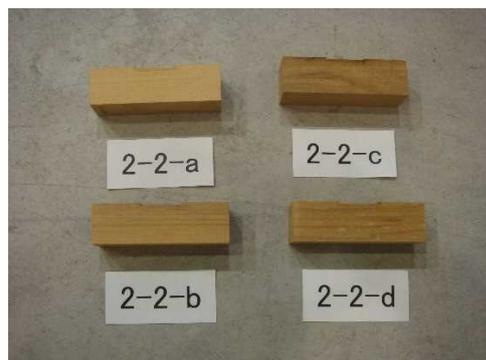


試験後

写真2. 1 : 部分圧縮試験の破壊状況(1-2-a, b, c, d)

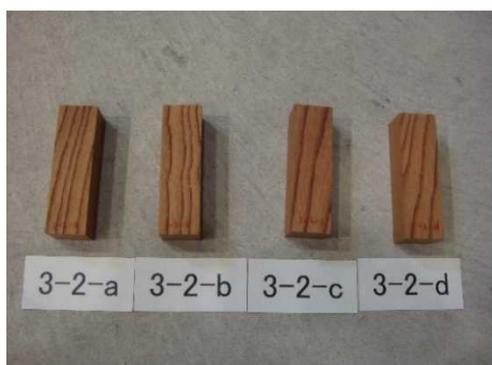


試験前

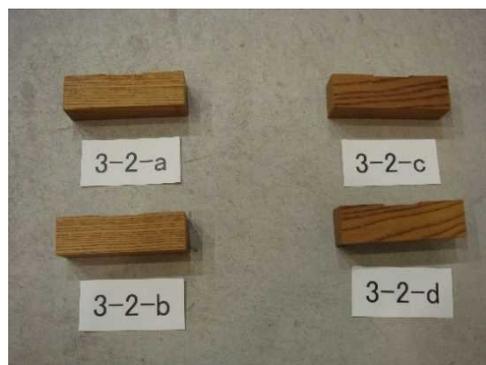


試験後

写真 2. 2 : 部分圧縮試験の破壊状況 (2-2-a, b, c, d)

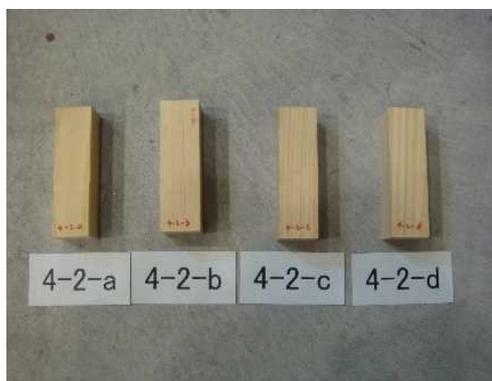


試験前



試験後

写真 2. 3 : 部分圧縮試験の破壊状況 (3-2-a, b, c, d)



試験前

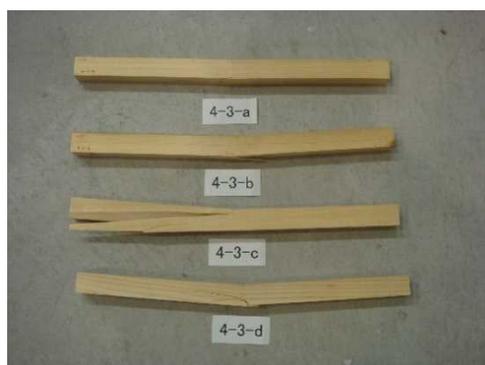


試験後

写真 2. 4 : 部分圧縮試験の破壊状況 (4-2-a, b, c, d)

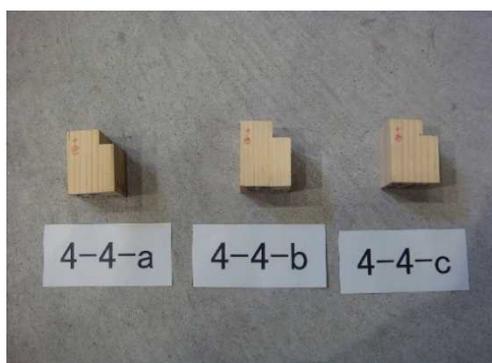


試験前

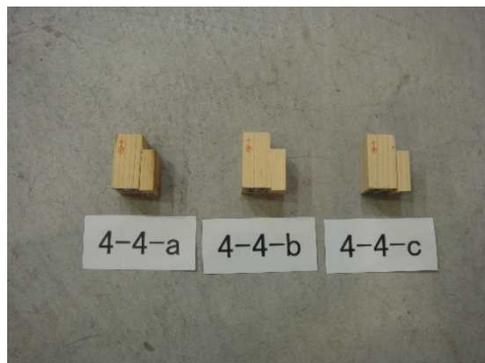


試験後

写真 3 : 曲げ試験の破壊状況 (4-3-a, b, c, d)

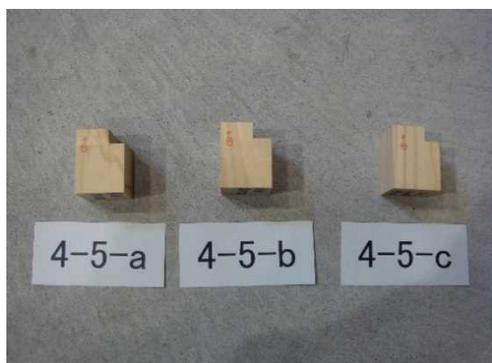


試験前

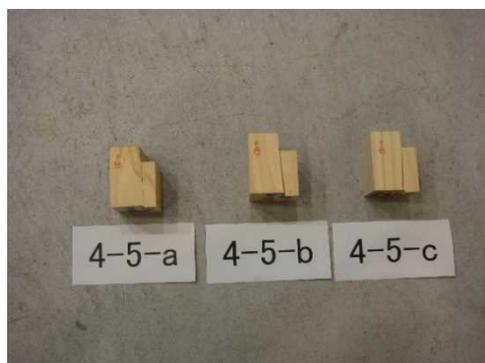


試験後

写真 4. 1 : せん断試験の破壊状況 (4-4-a, b, c)



試験前



試験後

写真 4. 2 : せん断試験の破壊状況 (4-5-a, b, c)



写真 5. 1 : 縦圧縮試験状況

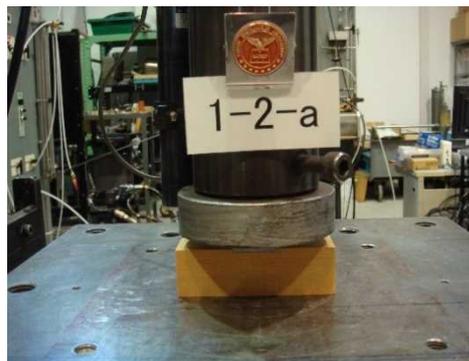


写真 5. 2 : 部分圧縮試験状況

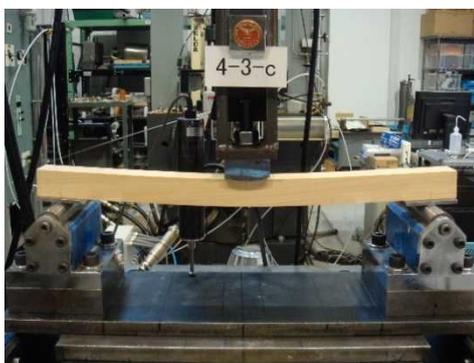


写真 5. 3 : 曲げ試験状況



写真 5. 4 : せん断試験状況

●理論式

—

●モデル化

—

●考察

表2～表5の試験体個別の試験結果によれば、採取個所の違いによる数値の差はみられるものの、同じ採取個所から採取された試験体ごとのばらつきは比較的少なく、均一な材であるといえる。

また、表2～表6と表7とで、縦圧縮強さ-圧縮強度、曲げ強さ-曲げ強度、せん断強さ-せん断強度、縦圧縮ヤング係数・曲げヤング係数-繊維方向ヤング係数、部分圧縮ヤング係数-繊維直交方向ヤング係数、をそれぞれ比較してみると、表2～表6に示される本試験による試験値はすべて表7の値と同程度か高めの値となっており、無等級材と同等かそれ以上の性能を有するものとみてよいものと思われる。さらに、ヒノキについて、本試験の古材と表8の新材の各種の強度・ヤング係数を比較しても、本試験の試験値は新材の値と同等かこれを上回る数値を示している。

以上のことから、本試験の木材は、ヒノキ、ケヤキとも構造計算上は建築基準法に規定される無等級材と同等以上の材として取り扱って差し支えないものと考えられる。

密度（≒比重）については、一般的な数値として、例えば、参考文献3)による気乾比重を参照すると、ヒノキは0.41、ケヤキは0.62であり、表6. 1、表6. 2に示した本試験の計測値（ヒノキが0.438、ケヤキが0.587）はこれと同程度の値となった。ただし、試験で用いた試験体が木材の健全部分のみを選んで採取したものであることを考慮すれば、これらの試験結果による数値よりもやや低めの数値を建物全体の材料の比重値と設定するのが適切かと思われる。

含水率については、ヒノキ、ケヤキとも、含水率が最大のものでも10%程度と低い値を示し、かなり乾燥した材となったが、試験の実施時時期が冬場に近い比較的乾燥した時期であったこと、試験体が小さく乾燥しやすい状態であったことなどが影響しているものと思われる。