

首里城書院・鎖の間復元におけるイヌマキ(チャージ・新材) 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：史跡 首里城跡（昭和 47 年 5 月 15 日）首里城書院・鎖の間（復元）

名勝 首里城書院・鎖の間庭園（平成 21 年 7 月 23 日）

所在地：沖縄県那覇市首里金城町 1-2

所有者（管理団体）：国営沖縄記念公園事務所

構造形式：木造

事業名称：首里城書院・鎖の間新築工事

事業期間：－

工事種別：新築

事業者：沖縄総合事務局国営沖縄記念公園事務所

設計監理：沖縄総合事務局国営沖縄記念公園事務所、協力：(株)内井昭蔵建築事務所

実験計画者：(有)安芸構造計画事務所

実験機関：宮崎県木材利用技術センター

実験年月日：平成 14 年 11 月 13 日～

引用・参考文献：

- 実験に至る経緯と目的

首里城書院・鎖の間の復元に際し、建物を構成する主要材料がイヌマキ（チャージ）であった。建築基準法の告示内にイヌマキの基準強度が示されていなかったため、使用する材料の一部より、製材用の材料試験片を製作し材料試験を実施した。

● 姿図・寸法

【使用材料】 イヌマキ (鹿児島県及び宮崎県産)

【試験体寸法】 試験体寸法は JIS Z2101 に定める範囲内の寸法の大きさとした。

試験体	寸法	試験体数
曲げ試験体	30mmx30mmx420mm	40
縦圧縮試験体	30mmx30mmx120mm	40
めり込み試験体	30mmx30mmx120mm	40
せん断試験体	30mmx20mmのいす型	年輪接線、半径、45° の3種類各20体

● 概要

用意した製材より、曲げ、圧縮、めり込み試験体と含水率確認用のピースをそれぞれ 40 個、せん断のブロック試験体は、木繊維の接線、直交、45° 方向の 3 種類の試験体をそれぞれ 20 個製作し加力試験を行った。

● 実験方法

(1) 含水率

乾燥器中で乾燥し、恒量に達した質量を測定し、(1)式より 算出した。

$$\cdot \text{含水率}(\%) = (m1 - m2 / m2) \times 100 \quad \dots (1)$$

m1 : 乾燥前の質量(g)、m2 : 全乾質量(g)

(2) 密度

気乾時の質量及び体積を測定し、(2)式より算出した。

$$\cdot \text{密度}(\text{g}/\text{cm}^3) = m/v \quad \dots (2)$$

m ; 試験体の質量(g)、v : 質量測定時の試験体の体積(cm³)

(3) 縦圧縮試験

荷重速度は 2 mm/分とし、最大荷重を計測し、(3)式より算出した。

$$\cdot \text{縦圧縮強度}(\text{N}/\text{mm}^2) = P_{\text{max}}/A \quad \dots (3)$$

P_{max}; 最大荷重(N)、A ; 断面積(mm²)

(4) 部分圧縮試験

試験体の征目面を荷重面として、加圧用鋼板(幅 30X 厚 16mm)を試験体に直交して設置し、荷重速度は 0.3mm/分で鋼板に荷重を加え、試験体の縮み(めり込み)を測定した。測定した P-δ 曲線より試験体厚の 5%に縮んだ時点の荷重を算出し、それを P_{5%}とし、(4)式より算出した。

$$\text{辺長(試験体高さ)5\%の部分圧縮強度}(\text{N}/\text{mm}^2) = P_{5\%}/A \quad \dots (4)$$

P_{5%}; 縮みが辺長 5%のときの荷重(N)、A ; 荷重面積(mm²)

(5) 曲げ試験

曲げ試験はスパンを試験体高さの13倍とし、中央集中加力方式で荷重速度1mm/分で加力し、スパン中央の変位を測定した。測定した最大荷重より曲げ強度を(5式)より算出、P- δ 曲線より比例域における荷重とそれに対応する変位を求め、曲げヤング係数を(6式)より算出した。

$$\cdot \text{曲げ強度 (N/mm}^2\text{)} = 3P_m L / 2bh^2 \quad \dots (5)$$

$$\cdot \text{曲げヤング係数 (N/mm}^2\text{)} = \Delta P L^3 / 4bh^3 \Delta y \quad \dots (6)$$

P_m : 最大荷重(N)、L:スパン(390mm)、b:試験体幅(mm)、h:試験体高(mm)

ΔP : 比例域における上限荷重(0.4P)と下限荷重(0.1P $_m$)の差

Δy ; APに対応するスパン中央のたわみ(mm)

(6) 剪断試験

せん断試験はブロックせん断装置を用い、荷重速度2mm/分で加力し、最大荷重を求め、せん断強度を(7式)より求めた。せん断試験ではせん断面が征目と板目、45°の3方向について行った。

$$\cdot \text{せん断強度 (N/mm}^2\text{)} = P_m / A \quad \dots (7)$$

P_m ; 最大荷重(N)、A ; せん断面の面積(mm²)

●試験結果

材料試験結果を表1、表2に示した。

表1 含水率、曲げ強度、縦圧縮強度、めり込み試験結果

Av.: 平均値、S.D.: 標準偏差、C.V.: 変動係数

試験体 番号	材料 番号	含水率 (%)	曲げ試験結果					縦圧縮試験結果		めり込み試験結果		
			平均 年輪幅	繊維傾 斜角度	密度 g/cm ³	MOR (Mpa)	MOE (N/mm ²)	破断	縦圧縮 強さ Mpa	ヤング 係数 Gpa	辺長5%部分 圧縮強さ (N/mm ²)	部分圧縮比 例限度 (N/mm ²)
1	C2	13.0	3.71	14	0.513	70.98	5404.1		25.58	6.88	11.50	7.30
2	C3'	13.9	3.51	0	0.583	77.14	5210.9		40.39	6.48	24.80	15.20
3	O2'	14.4	5.15	17	0.623	83.87	5423.2		44.49	5.98	17.30	11.20
4	C1	13.7	3.22	13	0.575	87.99	4527.6		37.72	5.79	22.60	14.90
5	D2'	13.3	4.67	7	0.595	63.54	4837.4		40.46	5.75	19.30	11.90
6	B1'	12.9	4.67	20	0.538	57.54	3888.4		28.19	4.65	13.10	8.80
7	F3	13.1	2.50	29	0.521	79.15	5259.3		34.28	6.32	11.80	7.70
8	C1	13.9	2.79	20	0.543	66.16	4682.6		39.04	6.15	15.20	11.40
9	C3'	14.3	6.56	10	0.636	86.08	5015.8		42.68	5.91	15.10	17.00
10	C3'	13.3	5.43	16	0.563	61.39	5039.1		37.33	5.82	19.00	13.30
11	D2'	13.4	2.32	8	0.568	71.36	4611.9		41.30	6.19	20.50	13.50
12	C3'	13.7	3.73	8	0.532	75.65	5817.6		36.21	5.89	14.20	9.80
13	D3	13.8	3.96	4	0.586	49.30	4929.3		41.91	6.07	20.90	14.20
14	C2'	14.1	4.00	2	0.527	74.58	5825.6		41.08	6.88	13.60	11.70
15	E3	12.9	4.05	11	0.606	80.46	5638.3		43.44	6.85	19.80	13.10
16	C2	12.3	4.69	19	0.535			目切れ材	38.54	5.58	15.60	10.90
17	D1	13.6	4.29	20	0.597	78.97	4810.8		46.15	5.84	14.80	10.10
18	D1	13.5	6.37	16	0.613	69.41	4658.1		42.75	6.87	17.80	12.00
19	C2'	13.2	5.92	14	0.524	75.05	5403.7		41.11	6.96	14.30	9.60
20	B3	12.5	4.06	40	0.503	83.09	6984.7		43.97	9.08	10.60	7.20
21	B3'	12.6	6.19	24	0.518	75.02	5792.0		38.30	6.95	10.50	7.50
22	B2'	12.7	5.81	40	0.512	75.35	5258.1		39.98	7.34	11.50	7.70
23	D3'	13.6	5.22	20	0.635	77.41	5275.6		47.07	6.18	16.50	11.20
24	B2'	12.6	2.87	43	0.500	73.98	6910.8		41.60	8.09	9.90	6.90
25	B1'	12.4	4.26	35	0.501	71.14	5980.9		38.04	6.39	11.30	7.40
26	E2'	12.7	4.57	30	0.522	64.96	5259.3		37.79	6.84	14.90	10.20
27	E1	13.0	3.60	30	0.568	76.35	5628.7		38.74	6.59	15.80	9.30
28	E	12.9	4.52	42	0.610	82.07	5440.2		44.33	6.01	16.60	10.50
29	B3'	12.5	7.26	27	0.546			支点付近から破壊	30.25	5.71	16.40	10.50
30	E1	12.6	4.43	40	0.545	75.17	5356.4		40.90	6.38	12.60	9.00
31	E2'	11.1	4.25	27	0.547			目切れ材	34.33	5.66	20.90	13.60
32	E2	12.5	3.48	40	0.619	80.13	5601.3		45.90	6.21	18.10	11.70
33	E2'	9.9	4.08	35	0.511	71.14	6144.8		39.72	7.84	12.00	8.00
34	E1	10.8	4.09	42	0.523	64.56	5738.1		36.64	6.41	12.10	7.90
35	E3	12.2	5.43	42	0.587	73.16	4944.5		41.97	6.23	15.40	10.20
36	E3'	11.6	3.06	24	0.534	71.56	6622.7		43.41	8.22	12.00	8.60
37	E3'	11.0	5.33	23	0.541			支点付近から破壊	32.57	4.29	18.40	13.10
38	B2'	10.9	6.97	32	0.523	49.73	3961.4		39.09	6.43	12.40	9.00
39	D3'	10.2	4.86	40	0.645	88.54	5423.9		47.00	6.15	16.10	10.80
40	C1'	11.7	3.76	9	0.555	78.57	5081.3		43.05	6.48	12.90	9.60
AVG		12.71	4.50	23.3	0.558	72.79	5339.2		39.7	6.4	15.5	10.6
STD		1.10	1.21	12.86	0.04	8.95	703.06		4.81	0.87	3.62	2.49
CV		0.09	0.27	0.55	0.08	0.12	0.13		0.12	0.14	0.23	0.24
K40			0.11	0.11	0.11	1.84	0.11		1.83	0.11	1.83	1.83
バラッキ係数			0.97	0.94	0.99	0.77	0.99		0.78	0.99	0.57	0.57
基準値			4.4	21.9	0.55	56.3	5263.3		30.9	6.31	8.8	6.0
MAX		14.4									24.80	17.00
MIN		9.9									9.90	6.90

k : 強度の関しては、常数(n=40)信頼水準 75%における 95 %下側許容限界値を求めるための係数を、剛性 (MOE、ヤング係数) に関しては 50%下限許容限界値を採用した。

但し、曲げ試験に対して常数を n=36 とし、k 値は補完によって求めた。

ばらつき係数=1-(CV)・k

表 2 せん断強さ

せん断強さ： τ N/mm ²					
接線方向		半径方向		45° 方向	
T01	18.0	R01	16.2	RT01	19.2
T02	22.1	R02	15.1	RT02	19.6
T03	19.8	R03	13.9	RT03	15.0
T04	16.9	R04	15.2	RT04	14.3
T05	20.4	R05	17.7	RT05	17.3
T06	19.1	R06	16.1	RT06	19.0
T07	21.5	R07	15.4	RT07	13.9
T08	18.3	R08	13.2	RT08	14.1
T09	19.8	R09	16.9	RT09	16.7
T10	15.6	R10	14.8	RT10	15.0
T11	17.0	R11	15.0	RT11	13.3
T12	19.0	R12	14.2	RT12	17.1
T13	15.3	R13	14.7	RT13	17.0
T14	14.1	R14	13.8	RT14	15.4
T15	18.8	R15	13.6	RT15	17.3
T16	19.8	R16	13.3	RT16	17.5
T17	16.3	R17	15.4	RT17	14.4
T18	18.4	R18	18.0	RT18	19.7
T19	18.3	R19	14.2	RT19	14.0
T20	19.5	R20	14.8	RT20	17.5
AVG	18.4		15.08		16.37
STDEV	2.05		1.36		2.06
CV	0.11		0.09		0.13
K20	1.93		1.93		1.93
バラツキ	0.78		0.83		0.76
基準値	14.4		12.45		12.38

表 3 基準強度特性値とヤング係数

項目	基準強度特性値
曲げ強度	56.3 N/mm ²
縦圧縮強度	30.9 N/mm ²
辺長5%部分圧縮強さ	8.8 N/mm ²
部分圧縮比限度	4.8 N/mm ²
せん断強度 接線	14.4 N/mm ²
せん断強度 半径	12.5 N/mm ²
せん断強度 45°	12.4 N/mm ²
曲げヤング係数(平均値)	5263.3 N/mm ²

表 4 基準強度

項目	低減係数	基準強度	
曲げ強度	0.45	25.3	N/mm ²
縦圧縮強度	0.62	19.1	N/mm ²
辺長5%部分圧縮強さ	1.00	8.8	N/mm ²
部分圧縮比限度	1.00	4.8	N/mm ²
せん断強度 接線	0.50	7.2	N/mm ²
せん断強度 半径	0.50	6.2	N/mm ²
せん断強度 45°	0.50	6.2	N/mm ²

●考察

- 木質構造基準・同解説（日本建築学会）では、標準試験より算出した5%下限値を基準強度特性値としている。材料試験結果よりイヌマキの基準強度特性値及びヤング係数示すと表3のような結果となった。これに劣化影響係数（ $K_i=1.0$ ）を乗ずれば基準材料強度と読み替えることができる。
- 基準強度特性値に欠点による低減値を乗じて、基準強度を算定した結果を表4に示した。欠点による低減係数として、木質構造設計基準・同解説(1995改定, P. 161)を準用した。記載が無い項目に関しては低減係数を1.0とした。
- 算定されたイヌマキの基準強度は、すぎ材のE50（ $F_c=19.2$, $F_b=24.0$ N/mm²）相当であることが解った。但し、せん断強度6.2~7.2 N/mm²とすぎ材の $F_s=1.8$ N/mm²とは大きく異なることが確認された。