

アルミニウム箱形断面材と木材による合成構造柱に関する実験的研究

- 木材の肌すきによる構造特性 -

日大生産工(院) ○伊藤有美

日大生産工 小松 博

1. はじめに

循環型社会が推進されている背景から、本研究ではアルミニウム箱形断面材に木材を挿入する合成構造柱を提案する。木材は節や繊維方向により耐荷性能のばらつきを生じ、アルミニウムは板の局部座屈を起こすため、合成構造とすることで互いの欠点を補うことが既往¹⁾の実験で確認されている。また、アルミニウムは一般的にアルマイト溶接を用いて利用されるが、本研究の提案であれば、図-1 に示すように木質構造の仕口金物等によるネジやボルト留めによる施工が可能となる。将来的には、木材を小径木などの未利用材や集成材とすることで、より資源の有効活用が期待できる。

しかし、木材は経年劣化により細ることで、強度が低下するような木痩せを生じる場合があり、本研究の合成構造柱においても、木材の木痩せによる肌すきが生じることが予想される。本報告では、木材の肌すきによる構造特性を確認するため、予め肌すきを持たせた柱材を用いて曲げ座屈実験を行い、座屈耐力や変形性能について検証した。

2. 試験体

図-2 に試験体形状、表-1 に試験体詳細を示す。試験体は、アルミニウム箱形断面材 (以下 AL という) および木材 (以下 W という) の単一柱と、AL に W を挿入した合成構造柱 (以下 ALW という)、さらに肌すきを持たせた合成構造柱 (以下 ALWG という) の 4 種類である。AL は $\square 100 \times 100 \times 3$ を用い、W はプレーナー加工により寸法調整を行った。また、累加耐力の評価を行いやすくするため、単一柱および合成構造柱の W は、同一の断面寸法とした。肌すきを持たせた試験体については、予め約 1mm の肌すきを持たせるように W はプレーナー加工を行ったが、木材の反りなどの影響により多少のばらつきが存在し、0.9~1.5mm 程度の肌すきを持つ試験体となった。端部はフィラーを挿入

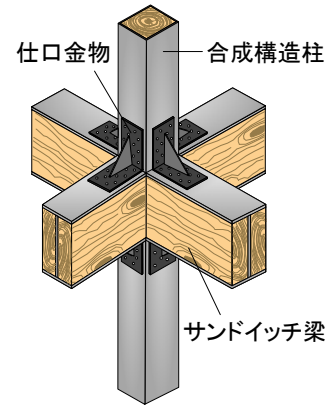


図-1 施工例

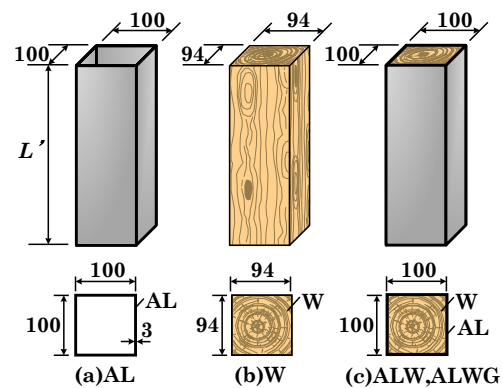


図-2 試験体形状

表-1 試験体詳細

試験体	断面構成(mm)			幅厚比
	W断面	AL断面 B×D	t	
AL	-	100×100	3	33.3
W	94×94	-	-	-
ALW	94×94	100×100	3	-
ALWG	93×93			

表-2 ALの機械的性質

降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び率 (%)	ヤング率 (N/mm ²)
194	215	14.1	61400

してWがALの中央に位置するよう調整した。

ALの機械的性質を表-2に示す。使用するALはA6063S-T5で、Wは杉の芯材を使用し、実験時の含水率は9.30~17.0%であった。座屈長さLはALWを基準として細長比 λ を算出し、治具長さを引いた材長 $L'=L-190$ を求めた。 $\lambda=55$ のとき $L'=1410\text{mm}$ 、 $\lambda=76$ のとき $L'=2010\text{mm}$ 、 $\lambda=97$ のとき $L'=2610\text{mm}$ とした。試験体数はWを6体、AL、ALW、ALWGを3体ずつとした。

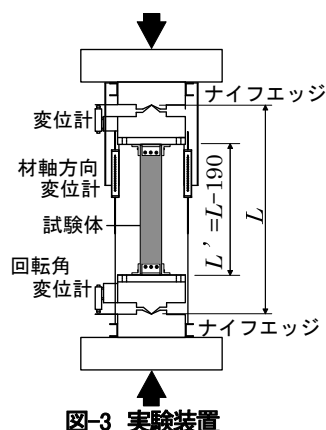


図-3 実験装置

表-3 最大耐力一覧および耐力比

λ	試験体	肌すき (mm)	N_{\max} (kN)	\bar{N} (kN)	N_o (kN)	$\frac{(\bar{N}_{\max})_{ALW}}{(\bar{N}_{\max})_{ALWG}}$	$\frac{(\bar{N}_{\max})_{ALW}}{N_o}$	$\frac{(\bar{N}_{\max})_W}{N_o}$	$\frac{(\bar{N}_{\max})_{AL}}{N_o}$	$\frac{(\bar{N}_{\max})_{ALW}}{(\bar{N}_{\max})_W}$	$\frac{(\bar{N}_{\max})_{ALWG}}{(\bar{N}_{\max})_W}$		
55	AL-1	/	197.2	194	309	-	1.03	0.37	0.63	2.8	2.6		
	AL-2	/	188.5										
	AL-3	/	195.7										
	W-1	/	109.6										
	W-2	/	78.5										
	W-3	/	119.4										
	W-4	/	159.1										
	W-5	/	127.3										
	W-6	/	96.4										
	ALW-1	/	328.7	319			-					1.09	0.95
	ALW-2	/	295.5										
	ALW-3	/	332.5										
ALWG-1	1.1	282.0	293	-	1.09								
ALWG-2	1.1	289.5											
ALWG-3	1.5	308.7											
76	AL-1	/	165.8			160	237	-	1.14	0.33	0.67	3.5	3.0
	AL-2	/	158.2										
	AL-3	/	155.7										
	W-1	/	65.1										
	W-2	/	50.8										
	W-3	/	97.4										
	W-4	/	105.6										
	W-5	/	90.5										
	W-6	/	53.1										
	ALW-1	/	262.5	270	-	1.17			0.97				
	ALW-2	/	252.5										
	ALW-3	/	293.7										
ALWG-1	1.0	230.7	230	-			1.17						
ALWG-2	0.9	227.7											
ALWG-3	0.9	232.2											
97	AL-1	/	131.9		133	186		-	0.95	0.28	0.72	3.4	3.5
	AL-2	/	135.5										
	AL-3	/	133.0										
	W-1	/	33.4										
	W-2	/	43.9										
	W-3	/	46.2										
	W-4	/	66.9										
	W-5	/	68.8										
	W-6	/	57.9										
	ALW-1	/	161.2	177	-		0.95		1.00				
	ALW-2	/	183.6										
	ALW-3	/	186.8										
ALWG-1	1.5	179.5	186	-		0.95							
ALWG-2	1.3	191.8											
ALWG-3	1.0	187.4											

3. 実験方法

図-3 に実験装置を示す。実験は 1000kN 万能試験機と、 $\lambda=97$ については 2000kN 万能試験機を用いての曲げ座屈とした。試験体はナイフエッジを持ったピン支持装置にビス (AL はボルト) 留めで固定した。

荷重は試験機より直接検出し、変位測定では、支点間において 200mm 変位計を試験体の材軸方向に、50mm 変位計を両支点の回転角に設置した。試験体のひずみは AL 中央に三か所ずつ、4 面に単軸ひずみゲージを貼付して測定を行った。なお、W はひずみの測定を行っていない。

4. 実験結果および考察

表-3 に最大耐力および耐力比を、表-4 に標準偏差と変動係数を示す。表-3 より、ALW, ALWG の最大耐力 N_{max} の平均値 \bar{N} を比較した $(\bar{N}_{max})_{ALW}/(\bar{N}_{max})_{ALWG}$ を算出したところ、 $\lambda=55$, $\lambda=76$ においては ALW の耐力が上回る結果となったが、 $\lambda=97$ に関しては逆に ALWG の耐力が上回っていることから、肌すきの有無に関わらず、 N_{max} に対してはほぼ影響はないことが考えられる。また、ALWG において肌すき寸法とそれぞれの N_{max} を比較したところ、全ての細長比において、肌すき寸法と N_{max} は比例していないため、肌すき寸法が N_{max} を決定する要因にはなっていないということがいえる。表-4 は部材としての標準偏差を算出したが、耐力のばらつきが概ね標準偏差の範囲内に収まっているため、1mm 程度のわずかな肌すきでは断面欠損による影響はないことが確認できる。以上の結果より、木材の肌すきによって最大耐力に対する影響はないことが推察される。

表-3 では並行して、ALW および ALWG の最大耐力の平均値 $(\bar{N}_{max})_{ALW}$, $(\bar{N}_{max})_{ALWG}$ を、各単一柱 (AL, W) の最大耐力の平均値 $(\bar{N}_{max})_{AL}$, $(\bar{N}_{max})_W$ を足し合わせた単純累加耐力 N_0 で除した累加耐力比 $(\bar{N}_{max})_{ALW}/N_0$ についても算出した。前報と同様に合成構造柱の最大耐力は単純累加耐力によって評価可能であることが確認できた。また、 $(\bar{N}_{max})_W$ および $(\bar{N}_{max})_{AL}$ を N_0 で除した値を、累加耐力に対する単一材の耐力比として求めたところ、AL は $\lambda=55$ で約 6 割、 $\lambda=76$, 97 で約 7 割を占めることから、全ての細長比において N_0 の耐力に占める単一材の耐力の割合は、AL が支配的であるということがいえる。そして W を AL で覆うことにより、

表-4 標準偏差と変動係数

λ	試験体	標準偏差 σ (kN)	変動係数 CV(%)	$\bar{N}_{max} \pm 2\sigma$ (kN)
55	ALW	9.60	3.01	300~338
	ALWG	6.49	2.21	280~306
76	ALW	10.13	3.76	249~290
	ALWG	1.08	0.47	228~232
97	ALW	6.58	3.71	164~190
	ALWG	2.94	1.58	180~192

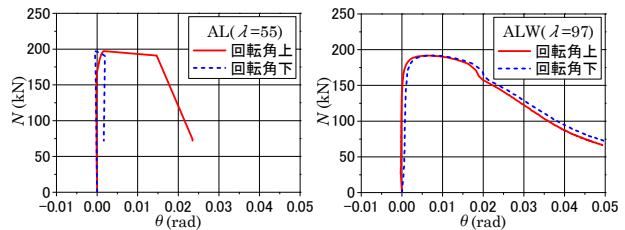


図-4.1 荷重-回転角 ($\lambda=55$) 図-4.2 荷重-回転角 ($\lambda=97$)



a. 局部座屈 ($\lambda=55$ ALW)

b. 曲げ座屈 ($\lambda=55$ W, ALW)

図-5 破壊性状

表-5 破壊性状一覧

λ	W	AL	ALW	ALWG
55		局部座屈	局部座屈	曲げ座屈
76	曲げ座屈	曲げ座屈	曲げ座屈	曲げ座屈
97		曲げ座屈	曲げ座屈	曲げ座屈

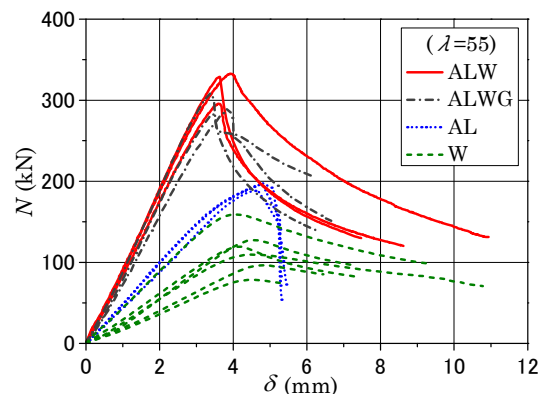


図-6.1 荷重-軸変位関係 ($\lambda=55$)

ALW および ALWG の最大耐力は、W の耐力に対して 2.6~3.5 倍と大幅な耐力増加を示している。

図-4.1 および図-4.2 に一例として荷重-材端部回転角を、図-5 に破壊性状を示す。破壊性状は図-4.1 に示すように、座屈後の回転角の動きが上下端で異なる推移を表した場合は局部座屈とし、図-4.2 のように同等の推移を表した場合は曲げ座屈と定義する。ただし、定義が難しいものに関しては目視を重視して、図-5.a のように端部で破壊したものを局部座屈、図-5.b のように中央部で破壊したものを曲げ座屈と判断した。表-5 に破壊性状一覧を示す。W では細長比に関係なく全て曲げ座屈となり、材の中央部分が割れる曲げ破壊を起こした。AL, ALW, ALWG では $\lambda=55$ において局部座屈および曲げ座屈の双方が生じ、 $\lambda=76, 97$ では曲げ座屈のみ生じる結果となった。ALW および ALWG の破壊性状の違いはほぼなく、W で生じる曲げ破壊を AL の拘束効果により抑えていると同時に、ALW, ALWG では AL の局部座屈も補剛していると考えられる。

図-6.1 から図-6.3 に細長比別の荷重-軸変位関係を示す。全ての細長比において AL, ALW, ALWG は、初期剛性のばらつきが小さいが、W ではそのばらつきが大きくなっていることが確認できる。荷重は N_{max} の約 1/3 の点で除荷しているため、W, ALW, ALWG に関しては載荷途中で W の割れる音はしたものの、破断までは至っていない。ALW では最大耐力後の変形能力の急激な低下がないことに加え、除荷点においても復元力を保った状態にあることから変形能力が高くなっていることがわかる。図-6.2 において ALW および ALWG の推移を比較すると、ALWG では肌すきにより最大耐力後、一度急激な耐力低下を示したもののや、内部の W の割れが進行することで段々と耐力低下が起こっているものがあつた。概括的に、木材の肌すきによる最大耐力において大きな影響はないが、変形能力に関しては若干のばらつきが存在することが確認できる。

図-7 に荷重-細長比関係と、理論式として AL, W の Johnson, Euler, Tetmajer 曲線を示す。図より、AL は耐力のばらつきがほぼなく W では大きくばらついており、W の耐力の不均一性を ALW および ALWG とともに概ね抑えていることが確認できる。また、AL は実験値が理論式を上回っているが、W においては $\lambda=55$ で下回り、 $\lambda=76, 97$ では概ね一致する結果となった。

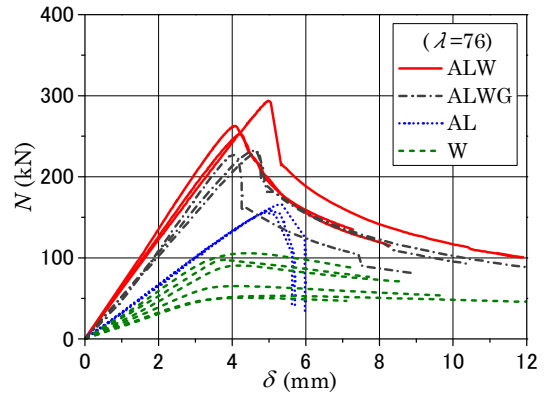


図-6.2 荷重-軸変位関係($\lambda=76$)

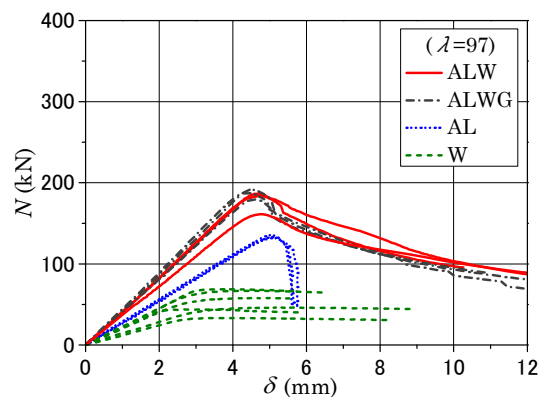


図-6.3 荷重-軸変位関係($\lambda=97$)

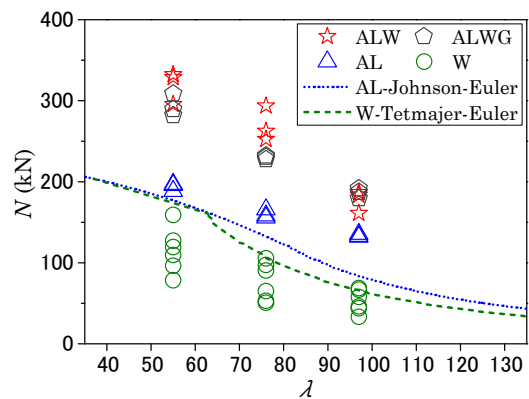


図-7 荷重-細長比関係

5. まとめ

合成構造柱ではアルミニウムの拘束効果によって木材の不均一性を概ね抑えることができ、変形能力の向上が可能となる。木材の肌すきによって最大耐力、破壊性状に対する影響はほぼないが、変形能力に関しては影響を与える可能性がある。

参考文献

- 1) 伊藤有美, 小松博: 「アルミニウム箱形断面材と木材による合成構造柱に関する実験的研究—曲げ座屈実験—」, 2014年度日本建築学会大会(近畿), 2014.9, pp.815-816