

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

日大生産工(院) ○伊藤有美

日大生産工 小松 博

1.はじめに**1-1.背景**

昨今の省エネルギーやリサイクルに対する意識の高まりから、循環型社会を構築するための取り組みが推進されている¹⁾。建築分野においても、資源の有効活用や環境負荷の低減を課題とし、再利用可能な資源が注目を集めている²⁾。木材に関しては、一般的に環境負荷の小さい資源として認知され、以前から資源の有効活用という面で着目されている。また、アルミニウムは近年、リサイクル性の高い資源として認識され始め、主構造部材がアルミニウムで構成されている「アルミニウム建築」³⁾として実現されるようになった。

1-2.アルミニウムの特徴

アルミニウムは原料のボーキサイトを精錬することにより製造されるが、その際に膨大なエネルギーやコストを必要¹⁾とする。しかし、原料からの精錬と比べ、アルミニウムとして加工された資源を、再び溶かして利用する方が、生じるエネルギーやコストが遥かに小さい³⁾。また、アルミニウムの融点は一般の構造部材である鉄と比較すると低く、鉄を溶かすよりも比較的省エネルギーでの利用が可能となる。

アルミニウムの比重は鉄の約3割程度と軽量で加工性が良く、施工性も優れている。しかし、一般に使用されるアルミニウムは耐食性、耐摩耗性向上のため、表面を陽極酸化被膜で被うアルマイト加工⁴⁾が施されている。このため一般の溶接が難しく、アルマイト溶接の技術が必要であるが、アルミニウムを構造部材として普及させるためには特殊な溶接技術がなくとも、容易に組み立てることのできる工法が求められる。

加えてアルミニウムは廃棄せずに、不要なアルミニウムを循環利用していくことで、総合的な環境負荷を低減することが可能である。

1-3.木材の特徴

現在の木材利用率は輸入材がその多くを占め、また、国

産材の中でも特に杉材が余り、国産材の需要が低迷⁴⁾していることで、日本の林業は衰退しているのが現状である。それゆえ、手入れが行き届かず放置される森林は、本来の機能が発揮できないため、木材の循環利用が求められている。そこで、積極的に建築での木材利用率を増加させ、国産材の需要を高める必要があると考えられる。なおかつ、木材利用率の増加に伴い、日本の林業を復活させることで地域経済の活性化、循環型社会の促進が期待できる。

木材は生産する際のエネルギーが他の材料と比較しても微々たるものであり、省エネルギーな資源⁵⁾であるといえる。そして木材の中でも間伐材や端材、小径木²⁾などの未利用材も、構造部材として利用可能となれば、資源の有効活用に繋がる。

1-4.アルミニウムと木材による合成構造

本研究では、アルミニウム箱形断面材に木材を入れる合成構造柱を提案する。この方法であれば、アルマイト溶接をしなくても木質構造の在来軸組構法のように、仕口金物によるネジやボルト止めが可能となり、溶接技術を補うことができる。

さらに合成構造⁶⁾の利点としては、各材料の累加耐力や変形性能についての向上が考えられる。木材は節や繊維方向による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、合成構造とした場合に木材の耐力等のばらつきを抑え、アルミニウムの局部座屈を防ぐなど、互いの欠点を補うことができると推測される。

そして将来的には、アルミニウム内部に挿入する木材を、これまで構造部材とされなかった未利用材に置き換えることで、資源の有効活用の実現が期待できる。

実験計画としては、短柱圧縮実験、純曲げ実験、せん断実験、中心圧縮実験を行う予定であるが、本報告では、短柱圧縮実験、純曲げ実験について報告する。実験は、単一柱と合成構造柱の圧縮性状、曲げ性状の比較を行い、木材をアルミニウムで拘束することにより可能な耐力等のばらつき⁷⁾の低減、また累加耐力や変形性能の向上についての検証を行った。

2.短柱圧縮実験

2-1.試験体

試験体一覧を表-1に示す。試験体は、アルミニウム箱形断面材（以下AL）および木材（以下W）の単一柱と、ALにWを挿入した合成構造柱（以下ALW）の3種類である。

短柱圧縮実験におけるALの機械的性質を表-2に示す。使用するALはA6063で、Wは杉角材を使用し、含水率は単一柱、合成構造柱ともに8.5～12.2%であった。

図-1に試験体形状を示す。ALの厚さは全て $t=3\text{mm}$ を用いる。また、ALWのAL内部に挿入するWは、プレーナー加工により寸法の調整を行った。ただし、WとALWの比較を行いやすくするため、単一材として各Wの断面寸法を同一となるよう調整した。材長は全てALWの断面寸法の3倍である $H=300\text{mm}$ とした。

試験体本数はWを12体、AL、ALWをそれぞれ9体ずつとした。

2-2.実験方法

図-2に実験装置を示す。変位計（ストローク：50mm）は試験体から40mm離して四隅に設置し、変位の測定をした。加力は1000kN万能試験機を用い平押し载荷とした。なお試験体の軸方向に均等に加力するため、試験体の両端に加圧盤を設置し、試験体と加圧盤との定着のために仮押を行い、その後、連続载荷を行い最大荷重後、その1/3の荷重値を示した時点で除荷した。

2-3.実験結果および考察

最終破壊状況を図-3に示す。Wでは節や割れにより破壊状況にばらつきが見られ、一部は端部で圧壊を起こしたのもあったが、概ね材の繊維方向に沿って割けるような形で、中央部で膨らむように破壊した。ALでは、いずれも同様の破壊状況で、端部や中央部での局部座屈となった。ALWについては、Wで生じる中央部の破壊をALで拘束することにより防ぐことができたため、破壊は全て、ALの局部座屈を生じた部分において、Wが押し出されるような形で端部に起こった。即ち、Wの繊維による破壊性状をALの補剛効果によって抑えていることがいえる。

表-3に、短柱圧縮実験における耐力の範囲および累加耐力を示す。そして、ALとWの最大耐力の平均値 $\bar{N}$ を単純に足し合わせる単純累加耐力を算出した。また表-4に耐力の標準偏差 σ と変動係数CVを求め、耐力のばらつきの分布を確認し、 $\bar{N}$ と足し合わせた標準偏差の範囲 $\bar{N} \pm \sigma$

表-1 短柱圧縮試験体一覧

試験体	試験体 形状	断面構成(mm)			幅厚比
		W 断面	AL断面		
			$B \times D$	t	
AL	a	—	100×100	3	33.3
W	b	94×94	—	—	—
ALW	c	94×94	100×100	3	—

表-2 短柱圧縮試験体のAL機械的性質

試験体	試験片	板厚(mm)	断面積(mm^2)	降伏耐力(N/mm^2)	引張強さ(N/mm^2)	伸び率(%)
AL	5号	2.90	72.5	201	224	14.6
ALW		2.89	72.3	199	222	14.7

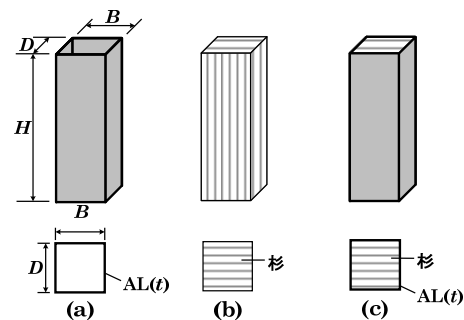


図-1 試験体形状

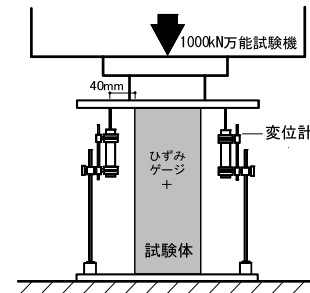


図-2 実験装置



図-3 最終破壊状況

表-3 短柱圧縮実験における耐力範囲および累加耐力

試験体	W	AL	ALW
耐力範囲(kN)	264.7～369.2	186.5～208.7	480.0～556.0
$\bar{N}$ (kN)	322.1	201.1	508.3
累加耐力(kN)	523.2		508.3
耐力比	0.972		

表-4 耐力の標準偏差と変動係数

試験体	標準偏差 σ	変動係数CV	$\bar{N} \pm \sigma$ (kN)
W	99.043	30.748	223.066～421.151
AL	7.375	3.668	193.681～208.431
ALW	77.780	5.493	480.357～536.198

を算出した。変動係数はWが最大、ALが最小となり、ALWではALとそれほど変わらない程度のばらつきとなったことが分かった。また $\bar{N}$ は標準偏差内に含まれることから、累加比が小さくなったが問題はないことが分かる。

図-4にAL,WおよびALWの荷重-変位関係の一部を示し、比較を行う。表-3より、実験値のALW最大耐力を、単純累加耐力と比べると若干下回ったが、図-4より最大耐力後の耐力低下は単一柱よりも緩やかとなった。このことから、ALWでは変形能力を維持したまま、破壊までの耐力低下を少なくすることができると判断される。

図-5に、最大耐力の分布を示す。 N_{max} は、短柱圧縮実験で得られた試験体1体ごとの最大耐力であり、それらの平均値を $\bar{N}$ とし、図-5では N_{max} を $\bar{N}$ で除して無次元化した値 $N_{max}/\bar{N}$ をプロットした。図より、耐力のばらつきはWが最も大きく、ALは最も小さいことが分かり、ALWとした場合に、ALがWの耐力のばらつきを緩和していることが示される。そして表-4より、耐力のばらつき範囲はW、AL、ALWの順に大きいことから、ALWとしたときに耐力のばらつき範囲を小さくしているといえる。

単一柱ではWの耐力や変形性能のばらつきが著しく、合成構造柱でもWの影響で多少のばらつきが見られるが、ALの拘束効果によって概ね抑えることができている。さらに、軸方向力に弱く圧縮耐力の小さいALを、繊維方向力に強く圧縮耐力の大きいWと合成させることで、その補剛効果により軸方向圧縮力に対する向上が見られた。

3.純曲げ実験

3-1.試験体

純曲げ実験における試験体一覧を表-5に、ALの機械的性質を表-6に示す。使用する材料は短柱圧縮実験と同様で、試験体形状は図-1の通りであり、材長は $H=2000\text{mm}$ とする。短柱圧縮実験に対して純曲げ実験では幅厚比を考慮し、厚さ $t=2.5\text{mm}$ 、 3mm の2種類を用いた。Wの含水率は単一柱で $10.0\sim 58.0\%$ 、合成構造柱のAL($t=2.5\text{mm}$ (以下AL-2.5))で $38.5\sim 49.5\%$ 、AL($t=3\text{mm}$ (以下AL-3))で $36.0\sim 47.0\%$ であった。また、ALWのALに挿入するWは、短柱圧縮実験と同様にプレーナー加工により寸法の調整を行った。ただし、Wの断面寸法はALWと等しくした。

3-2.実験方法

荷重方法を図-6に示す。実験は 1000kN 万能試験機を用いて、支点間距離を $L=1800\text{mm}$ とし、 $L/3=600\text{mm}$ 点に

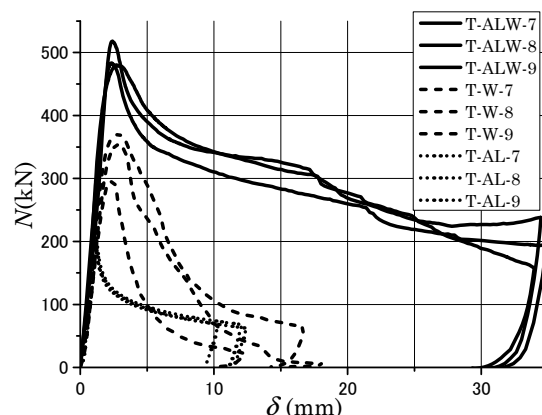


図-4 AL,WおよびALWの荷重-変位関係

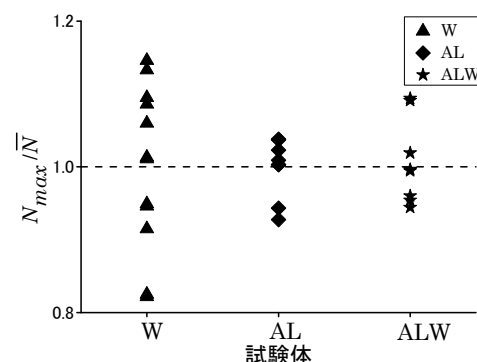


図-5 最大耐力の分布

表-5 純曲げ試験体一覧

試験体	試験体 形状	断面構成(mm)			幅厚比
		W 断面	AL断面		
			$B \times D$	t	
AL-2.5	a	—	100×100	2.5	40.0
AL-3	a	—	100×100	3	33.3
W	b	100×100	—	—	—
ALW-2.5	c	95×95	100×100	2.5	—
ALW-3	c	94×94	100×100	3	—

表-6 純曲げ試験体のAL機械的性質

試験体	試験片	板厚(mm)	断面積(mm^2)	降伏耐力(N/mm^2)	引張強さ(N/mm^2)	伸び率(%)
AL-2.5	5号	2.52	63.1	221	240	13.8
AL-3		2.83	70.7	206	227	13.9

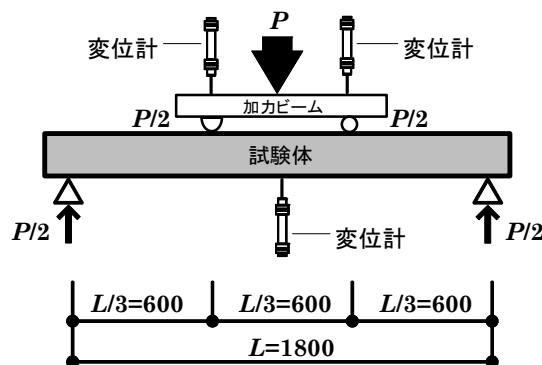


図-6 荷重方法

において2点集中荷重の純曲げ実験を行った。荷重は荷重を止めることのない準動的荷重とした。

変位は、図-6のように変位計を各荷重点および中央に設置し、試験体のひずみはAL中央の荷重点とその裏面に1か所ずつ、片側面に1.5cm間隔で7か所、計9か所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わない。

3-3.実験結果および考察

図-7-1、図-7-2にAL、WおよびALWの荷重-変位関係を示す。なお、Wは各図とも同一の実験結果を使用する。

図よりW、AL、ALWの順に初期剛性が高くなっていることが分かる。またWでは曲げ破壊が生じ、ALでは最大耐力後に局部座屈が起こったため耐力が小さくなったが、ALでWを拘束することでそれぞれ互いの欠点を補い、短柱圧縮実験と同様に剛性や耐力を高める効果が見られた。さらに降伏後もすぐに耐力は低下せず、変形性能が向上することが確認できた。

表-7に純曲げ実験における累加耐力を示し、比較を行う。各単一柱の合成構造柱としての耐力を推定するにあたり、Wの最大耐力 $P_{max}=17.30\text{kN}$ に、Wの断面寸法95mm、94mmの断面二次モーメント比0.81と0.78をかけ、最大耐力をそれぞれ14.09kN、13.57kNとした。また短柱圧縮実験と同様に、実験値のALWの最大耐力を、ALとWの最大耐力の平均値をそれぞれ合計した単純累加耐力を求めた。これより、ALWの最大耐力をAL+Wの単純累加耐力で除した耐力比を算出したところ、単純累加耐力に対して、ALWの最大耐力が同等以上となることが確認された。よって、ALWの最大耐力はALとWの単純累加耐力として安全側に計算できることが検証できた。

4.まとめ

アルミニウム箱形断面材と杉角材による合成構造柱部材の短柱圧縮実験、純曲げ実験を行い、以下の知見が得られた。

- ・アルミニウムと木材の各単一柱の最大耐力を用いて算出した単純累加耐力が、合成構造柱の最大耐力と同程度となることから、合成構造柱の最大耐力は、単純累加耐力により求められる。
- ・合成構造柱では、各単一柱の欠点に対する互いの補強効果が顕著に表れたため、単一柱で見られた耐力等のばらつきを抑え、最大耐力、変形性能についての向上が可能とな

ることから、合成構造部材としての適応が十分可能であると判断される。

・今後の実験を通して、合成構造柱としての更なる特性を検証し、将来的に利用価値の高い合成部材となることを期待する。

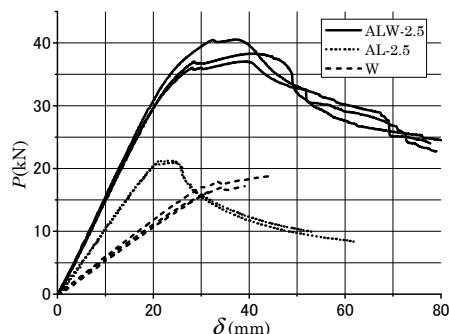


図-7-1 AL-2.5,WおよびALWの荷重-変位関係

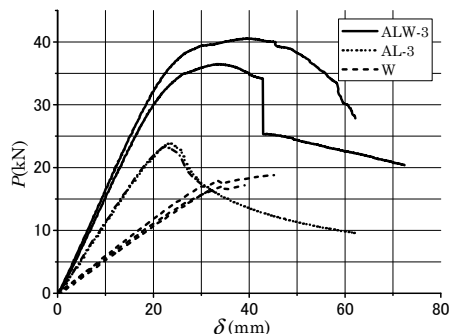


図-7-2 AL-3,WおよびALWの荷重-変位関係

表-7 純曲げ実験における累加耐力

試験体	ALW-2.5			ALW-3		
	AL	W	ALW	AL	W	ALW
P_{max} (kN)	21.20	14.09	39.16	23.98	13.57	38.43
累加耐力 (kN)	35.29		39.16	37.55		38.43
耐力比	1.11			1.02		

参考文献

- 1) 環境省 編：「平成25年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書」，日経印刷株式会社，2013.6，第2章第1節-5，第3節-1，第6節-3，第3章第1節
- 2) 平山寛江子，平島岳夫，上杉英樹：「『アルミと木の300年住宅』の開発に関する研究（その2）アルミニウム合金による合成部材の開発」，日本建築学会大会学術講演梗概集，2003.9，pp.619-620
- 3) 石田保夫，飯島俊比古，畔柳昭雄 編：「アルミニウムの空間」，株式会社 新建築社，2006.2，pp.3-13
- 4) 伊藤拓海 ほか：「合板と鋼材によるサンドイッチパネルの圧縮耐荷機構に関わる実験的研究」，日本建築学会技術報告集，第18巻，第40号，2012.10，pp.941-946
- 5) 松岡祐一 ほか：「木・鋼ハイブリッド構造部材の開発と実用化～自然素材（集成材）と鋼材でできた構造部材～」，新日鉄住金エンジニアリング技報，vol.4，2013.1，pp.46-55
- 6) 藤本利昭，小松博，櫻田智之：「再生骨材コンクリートを用いた合成構造柱の圧縮試験（その2）合成部材の実験結果」，日本建築学会大会学術講演梗概集，2010.9，pp.1367-1368