

アルミニウム型材と集成材による

合成構造骨組に関する実験的研究

日大生産工 ○小松 博 鉄建建設 高石 惇平
鉄建建設 石渡 康弘

1. まえがき

昨今の少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奨されている¹⁾。また、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。このような背景から、筆者らはアルミニウムと木材に着目し、アルミニウム箱形断面材に木材を挿入した合成構造柱を提案し、実験研究^{2),3),5)}を行ってきた。この結果から、合成構造柱とすることで、木材は節や繊維方向による耐荷性能のばらつきが抑制され、アルミニウムは板の局部座屈が抑えられるとともに、単純累加耐力で評価できることが確認された²⁾。またアルミニウム溝形断面材あるいは山形断面材をスギ集成材に被せ、ネジ留めにより接合した合成構造梁^{4),6)}における純曲げ実験も行った。これより変形性状ならびに最大耐力の向上が確認された。

以上の結果を踏まえ本報では、既往研究で提案した合成構造柱および合成構造梁を用いた門形架構の試験体に対し、地震力を想定した水平加力実験を行った。載荷方法は単調および正負交番の繰返載荷で、合成構造による門形架構の構造特性の検証を目的とした。なお本報告の一部は文献⁷⁾により既に報告している。

2. 試験体概要

試験体は図-1のように、□-100×100×3のアルミニウム箱形断面材（以下AL）に94×94mmの集成材（以下GT）を挿入した合成構造柱（以下ALGT）を柱材とし、材長を2000mmとした。また、梁材はL-50×50×5のアルミニウム山形断面材（以下L50）を、140×90mmのGTの四隅に被せた合成構造梁（以下L50GT）とし、材長を1400mmとした。L50は、M8×30のタッピングネジを用いて200mmの等間隔でGTの上下面、側面部に留め一体化している。ALGTの柱脚から50mmの位置に25φの穴開け加工を行いピン支承とし、そのピン支承から高さ1800mmにL50GTの材軸が位置するように仕

口金物を用いて接合を行った。図-2に仕口詳細を示す。仕口は、 $t=6\text{mm}$ の平鋼（SS400）2枚を用いて試験体を挟み、M12×125の貫通ステンレスボルトを各接合部10本の計20本により接合した。

表-1にアルミニウム型材の機械的性質を示す。アルミニウム型材はA6063-T5で、合成構造柱に用いたGTはラミナ層が4層の同一等級構成E65-F255で、合成構造梁に用いたGTはラミナ層5層の対称異等級構成E65-F225で、材種は

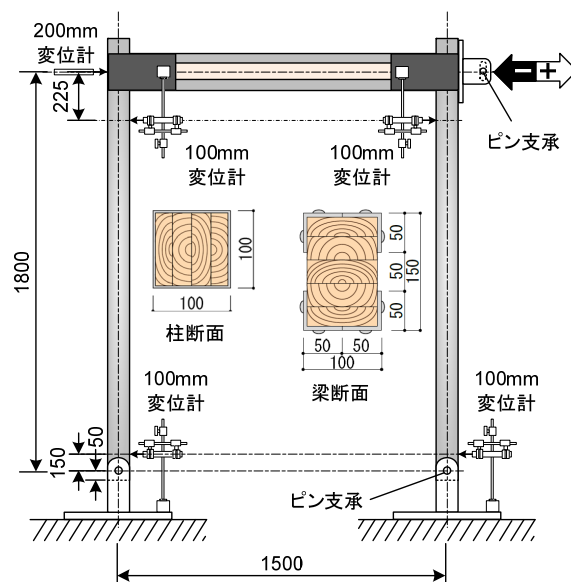


図-1 試験体概要および実験装置

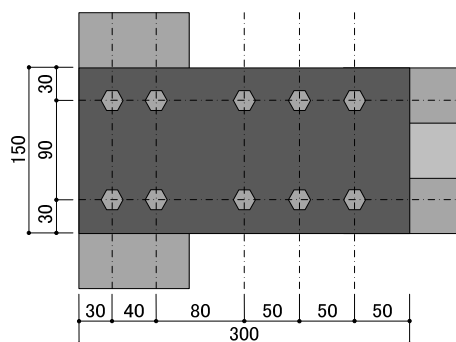


図-2 仕口詳細

Experimental Study on Composite Structural Frames with Aluminum Extrusion and Laminated Timber

Hiroshi KOMATSU, Junpei TAKAISHI and Yasuhiro ISHIWATA

共にスギである。電気抵抗式含水率計を用いて測定した試験体作製時の含水率平均値は、GT(柱)で18.0%、GT(梁)で17.2%であった。

3. 実験方法

図-1 に試験体概要とともに実験装置を示す。試験体は柱スパンを1500mm、柱脚から合成構造梁材軸までの距離を1800mmとして設定した。梁材軸の延長線上に、ローラー支承となる治具を取り付け、合成構造梁の材軸に沿って、一端クレビス付押引ジャッキを用いて載荷を行った。載荷方法は単調載荷と正負交番繰返載荷とした。荷重はジャッキに取り付けたロードセルより、変位は合成構造梁の材軸に取り付けた200mm 変位計を用い計測し、左右の両仕口部および柱脚部の変形角は100mm 変位計を用い計測を行った。

正負交番繰返載荷のサイクルは、柱の層間変形角で、 $R=1/100, 1/50, 1/25, 1/12.5$ とし、合成構造梁の重心位置の1800mm における水平変位は $\delta=18\text{mm}, 36\text{mm}, 72\text{mm}, 144\text{mm}$ である。繰返し数は $R=1/100, 1/12.5$ では各1 回、 $R=1/50, 1/25$ では各2回とし、最終ループは引ききる載荷履歴とした。

図-3にひずみ測定位置を示す。図中の赤字はひずみゲージ番号である。梁材のL50GTでは両端部から170mmの位置とし、部材の上下に2カ所ずつ貼付した。同様に柱材のALGTではL50GTの材軸から170mm下がった位置とし、部材の表裏に等間隔で3カ所ずつ測定した。ひずみゲージは単軸ゲージを用い、ALGTで12カ所、L50GTで8カ所の計20カ所について測定した。

4. 実験結果および考察

4.1 耐力評価

実験結果一覧を表-2に示す。 $P_{\max}$ は試験体1体ごとの最大耐力であり、最大耐力時の変形角を $R_{\max}$ とする。最大曲げモーメント $M_{\max}$ は、各柱にせん断力が均等に作用していると仮定し、柱に作用する最大曲げモーメント $M_{\max}$ を算出した。また、接合効率として、 $M_{\max}$ を既往研究⁵⁾のALGTに対する曲げ実験から得られたALGTの最大曲げモーメントの平均 M_{ALGT} で除した値を示した。

$P_{\max}$ は単調載荷で概ね一致し、繰返載荷では単調載荷に対し、1.3倍程度高い値を示した。しかし $R_{\max}$ は概ね同様であったことから、仕口部分の影響は少ないものとする。また単調載荷と繰返載荷の $P_{\max}$ に差が生じたのは内部GTの影響が高いと考える。 $M_{\max}/M_{\text{ALGT}}$ は、単

調載荷で概ね1に近い値であることから接合効率は十分であり、ALGTで破壊を起こし最大モーメントを決定していることが確認できた。このことから門形試験体の最大耐力は合成構造柱の破壊で決定し、仕口耐力は十分であった。また繰返載荷は単調載荷と比較して、同等以上の結果であることから地震時のような繰返し荷重下でも十分な構造性能を発揮できる。

4.2 履歴性状

図-4に単調載荷実験および繰返載荷実験の正加力時（青実線）・負加力時（赤実線）の包絡線を示す。併せて既往研究⁵⁾のALGT単体の最大曲げモーメント $M_{\max}$ を点線で示すとともに、各試験体の $M_{\max}$ を図中に○でプロットしている。水平剛性は単調載荷2体で概ね同等の勾配となった。また繰返載荷の正加力時包絡線は単調載荷より高い勾配を示し、差がみられたが概ね同様の挙動となった。この要因は、繰返載荷によりボルト孔が広がった影響が大きいものとする。これは図-5の仕口部分の荷重一回転角関係から確認できるように、ボルト孔が広がることによりすべりが生じ、ボルトがボルト孔に再び接触することにより剛性が急激

表-1 アルミニウム型材の機械的性質

	ヤング係数 (N/mm ²)	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
AL	62000	180	206
L50	60000	198	222

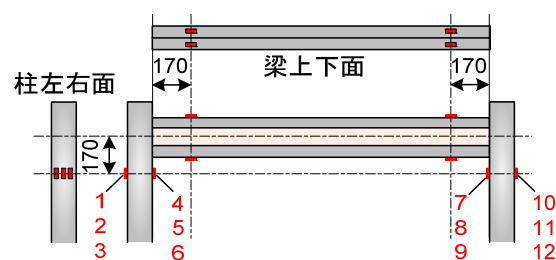


図-3 垂直ひずみ測定位置

表-2 実験結果一覧

載荷方法	$P_{\max}$ (kN)	$R_{\max}$ (rad)	$M_{\max}$ (kN・m)	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ALGT}}}$
単調載荷	13.9	0.16	12.5	0.97
	14.1	0.15	12.7	0.98
繰返載荷	18.8	0.17	16.9	-

に増加している。このことから正加力時包絡線は単調載荷より高い勾配を示している。

図-4より最大耐力時の R_{max} は単調載荷では $R=0.15$ 付近で、繰返載荷では $R=0.17$ 付近と概ね同等であることが確認できた。単調載荷、繰返載荷は共にALGTの内部GTの割れる音が聞こえ始め、その後ALGTの内部GTが大きな音とともに破壊し、最大耐力を決定した。以上より単調載荷と繰返載荷を比較すると地震時のような繰返し荷重下であっても単調載荷と変わらない性能を発揮できている。

4.3 ひずみ性状

図-6に単調載荷の、図-7に繰返載荷の荷重-ひずみ関係を示す。合成構造梁のひずみは全て弾性範囲内であったため、合成構造柱ALGTの荷重と平均のひずみ関係を示す。赤字で示したゲージ1~6は右側（非載荷側）の柱に、7~12は左側（載荷側）の柱に貼付している。各図の表記は、本来柱材の内外ではひずみが反

転するため、勾配が逆転するわけであるが、ここでは比較のため同一の勾配となるようにして符号を反転して示している。単調載荷、繰返載荷によらず、各柱がすべて破線で示したALの降伏ひずみに達して降伏した後に最大荷重を迎えている。また柱の左右および内外のひずみ性状は単調載荷、繰返載荷とも同様の軌跡を示しており、梁からの荷重伝達が効率よく行われていることが確認できた。図-9の繰返載荷時のひずみ性状に、単調載荷時の平均ひずみによる回帰直線を点線で示している。これより繰返載荷の傾きとほぼ同等であることが確認でき、破壊までは繰返しによる影響はないものと考えられる。これらのことから、仕口耐力は十分に部材間での力の伝達ができているものと考えられる。また繰返載荷は単調載荷と比較して降伏ひずみに達するまでの耐力が大きいものとなっている。

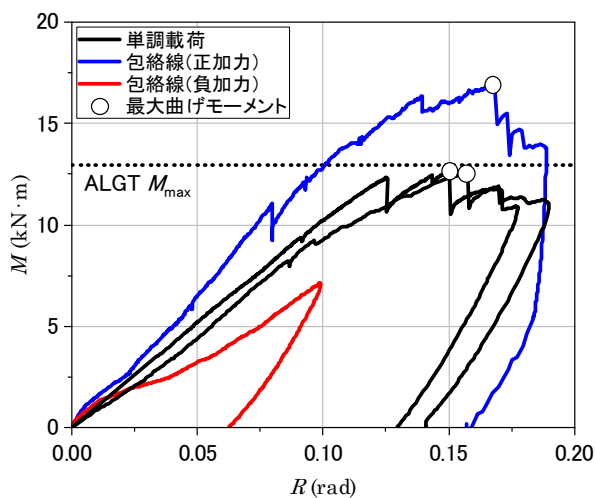


図-4 モーメント-回転角関係(単調載荷)

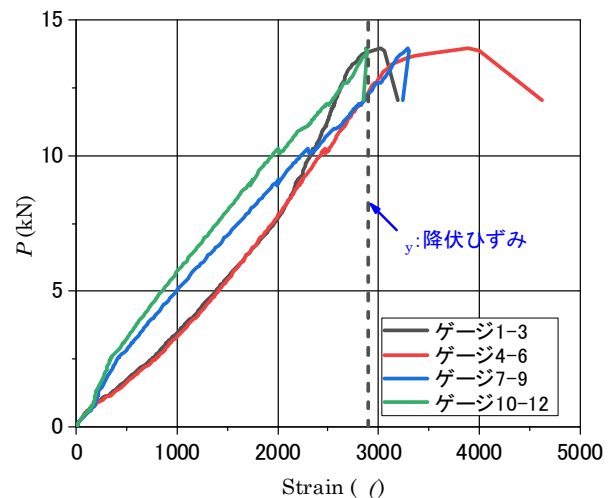


図-6 荷重-垂直ひずみ関係(単調載荷)

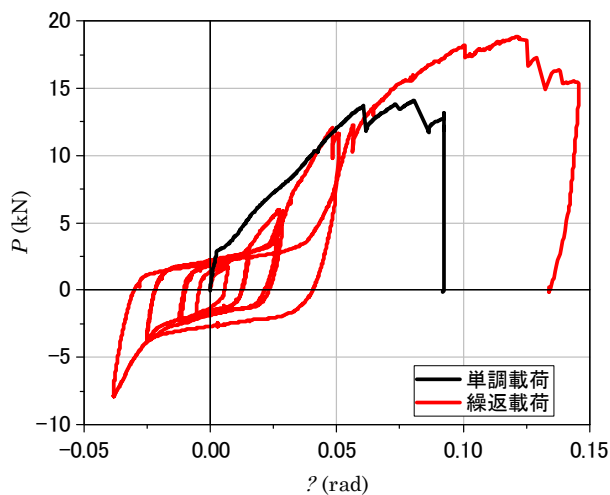


図-5 仕口部の荷重-回転角関係

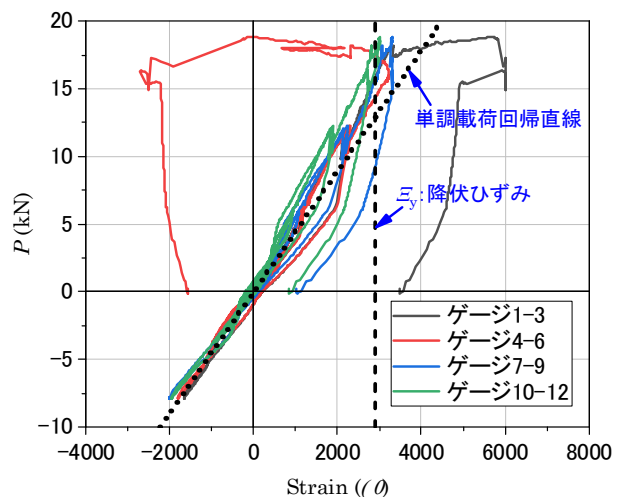


図-7 荷重-垂直ひずみ関係(繰返載荷)

4.4 破壊性状

図－8に単調載荷および繰返載荷の破壊性状写真を示す。仕口部分の破壊性状は単調載荷、繰返載荷で差異はみられなかった。またどちらも接合部の破壊は起きず、最大耐力は合成構造柱の内部集成材が破壊を起こすことにより決定した。このことから、提案する仕口形式の耐力は十分であり、本仕口を用いた柱梁接合部は門形骨組の柱・梁部材間の応力伝達が十分に行えと考える。(e)、(f)は仕口金物を外した合成構造柱の貫通孔の状況である。各試験体は下側の貫通孔が拡大しているのが確認できる。繰返載荷は単調載荷と比較して貫通孔の広がり大きいことから、より半剛接合に近い形となっていたと考えられる。

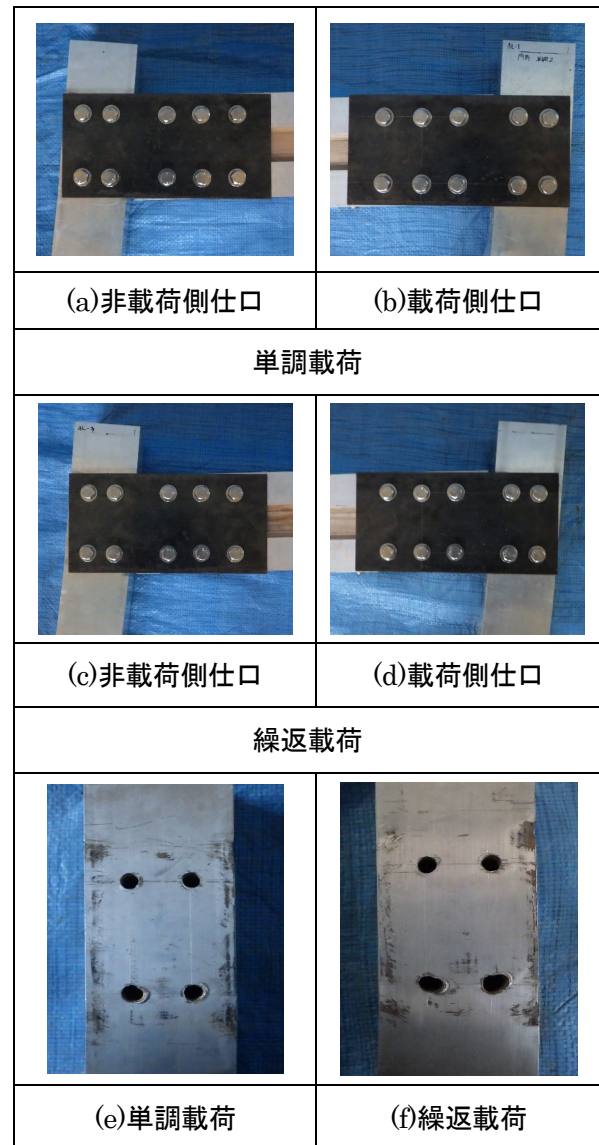
5. まとめ

アルミニウム型材と集成材を用いた合成構造柱および合成構造梁を用いた門形架構の試験体に対し、地震力を想定した水平加力実験を行い、以下の知見を得た。

1) 最大耐力は単調載荷で概ね一致し、繰返載荷では単調載荷に対し、1.3倍程度の高い値を示した。

2) 最大耐力時の変形角および履歴性状は、載荷方法によらず概ね同様であったことから、地震時のような繰り返し荷重下であっても仕口部のスリップ現象を除いては、単調載荷と変わらない性能を発揮できる。

3) 合成構造による門形架構は、合成構造柱の曲げ破壊により最大耐力が決定していることから、部材耐力により門形架構の耐力を評価が可能である。



図－8 破壊性状写真

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), 第2章第1節-5, 第3節-1, 第6節-3, 第3章第1節
- 2) 石渡康弘, 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, 日本建築学会構造系論文集 第746号 (2018) pp647-657
- 3) 石渡康弘, 西尾勇輝, 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—地震荷重を想定した門形骨組の繰り返し載荷実験—, 日本建築学会大会 (東北) (2018) pp1541-1542
- 4) 高石惇平, 小松博, 鎌田貴久, 石渡康弘, アルミニウム型材と集成材による合成構造梁

- に関する実験的研究 純曲げ実験, 日本建築学会大会 (関東) (2020) pp1341-1342
- 5) 井口豪, 小松博, 高石惇平, 石渡康弘, アルミニウム箱形断面材とスギ集成材による合成構造柱に関する実験的研究 —曲げ座屈実験—, 日本建築学会大会 (東海) (2021) pp1317-1318
- 6) 高石惇平, 小松博, 井口豪, 石渡康弘, アルミニウム山形断面材と集成材による合成構造梁に関する実験的研究 —曲げ実験—, 日本建築学会大会 (東海) (2021) pp1318-1319
- 7) 高石惇平, 小松博, 戸梶剛志, 石渡康弘, アルミニウム型材と集成材による合成構造に関する実験的研究 —門形架構の水平加力実験—, 日本建築学会大会 (北海道) (2022) pp1259-1260