

アラミド繊維補強プラスチックとラグスクリュー を使用した集成材はりの接合

Glued Laminated Timber Beam Joints due to Aramid Fiber Reinforced Plastics and Lag Screws

長谷部 薫*, 薄木 征三**

Kaoru HASEBE and Seizo USUKI

* 工博 秋田大学助教授 工学資源学部土木環境工学科 (〒010-8502 秋田市手形学園町1-1)

** 工博 秋田大学教授 工学資源学部土木環境工学科 (〒010-8502 秋田市手形学園町1-1)

Timber joints are one of the most important considerations in timber bridge design because they provide continuity to the members as well as strength and stability to the system. The connections may consist entirely of wood members but frequently involve the connection of wood to steel or other materials. The three fastener types most commonly used for timber bridges are bolts, lag screws and drift pins. This paper presents an experimental study of glued laminated timber beam joints due to lag screws and aramid fiber reinforced plastics used instead of steel plates. From the shear test, edge distance, end distance and spacing parallel to grain for lag screws are investigated. The numerical solutions are compared with the bending test results of the glued laminated timber beams with joints.

Key Words : timber joint, timber beam, aramid fiber, lag screw

1. まえがき

近年、木材がもつ天然材料としての良さを十分に活かした各種構造物が建造されている。その中で集成材は、製作・加工技術、防腐技術の進歩により、建築はもとより土木構造物の主構造材として使用されてきている。

しかしながら、大断面集成材の製作が可能になり、長スパン部材の架設が可能になった反面、現場への搬入および施工性から部材を分割し、現場継手を行う必要が生じてきた。集成材の接合具には、1988年版の木構造計算規準¹⁾で採用されたドリフトピンとラグスクリューおよび従来から用いられているボルトがある。ドリフトピンはボルトと異なり、ボルト頭、ナットと座金に相当する部分がない丸鋼で、接合材内部に鋼板を挿入して接合する継手に一般に用いられ^{2)~4)}、ボルトは鋼板を側材に用いた場合と鋼板を材内部に挿入した継手に用いられている。鋼板挿入ドリフトピン接合は鋼板添板ボルト接合より初期剛性が大きい、終局耐力は50~70%程度であり、ドリフトピン接合では、ボルトやラグスクリュー等を併用することが推奨されている⁵⁾。

ラグスクリューは、六角ボルトの胴部をネジ切りした木ネジ状の接合具で、側材に鋼板を用いた場合の接合に使用されており、ボルト接合より初期剛性が大きく、延

性に富んだ接合具である。鋼板側材の場合だけに適用されているラグスクリューの許容耐力は、実験結果^{6)~9)}に基づく経験式で規定されている。この接合具は、ボルトのように長い先孔を木材中に貫通させる必要がなく、大断面集成材の上下面に鋼添接板を用いる場合等に使用されている。

アラミド繊維補強プラスチック (AFRP) は、プラスチックとアラミド繊維との複合材で、炭素繊維補強プラスチック等の他の繊維強化複合材料と比較して傷やホールなどによる物性低下が小さく、耐食性、耐熱性、耐衝撃性に優れている。また、比強度 (引張強度/比重) が SS400材のそれより非常に高く、鋼添接板の代わりに AFRP を用いることにより、構造全体の軽量化を図ることが期待できる。

従来から用いられている集成材の鋼板継手の場合、鋼板の腐食防止のため亜鉛メッキ等が施されるが、ここでは、はり等の曲げを受ける部材の継手に鋼板の代替として腐食しない特徴を有する AFRP を使用した場合を想定し、ラグスクリューを用いた接合に関して各種の基礎的な実験と解析を行い、AFRP とラグスクリュー継手の可能性について考察する。ただし、AFRP は引張力に対して高強度を有するが、圧縮強度は低いため引張力

のみが作用する継手部にAFRPを使用した場合を対象とした。

2. AFRPの引張試験

AFRPにおいて要求される性質として、力学的性質、物理的性質、化学的性質、熱的性質、音響的性質などがあげられる。その中で、構造材料にとって最も重要な性質は力学的性質であり、特にAFRPは引張部材として使用されるため、引張試験を行い引張強度および引張弾性係数を求める。AFRPの引張試験に関するJIS規格はないため、GFRPの引張試験に準じ、後述の実験供試体で用いたAFRPから試験片を採取し、図-1のように一定の寸法、形状の試験片の両端に引張荷重を加えて、その材料が破壊するまでの応力とひずみとの関

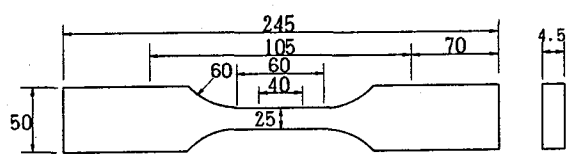


図-1 引張試験片

表-1 引張試験結果

供試体	σ_{max} (kgf/cm ²)	ポアソン比	E_A (kgf/cm ²)
1	3448	0.048	327000
2	3696	0.078	313000
3	3347	0.041	304000
平均	3497		315000

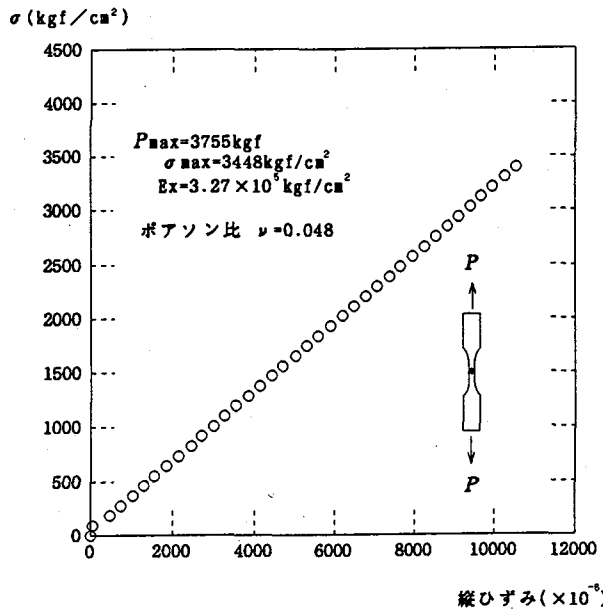


図-2 応力-ひずみ曲線 (供試体1)

係を求めた。使用したFRPの使用繊維はケブラークロスで繊維量45%、樹脂量52%、密度1.25 g/cm³、積層枚数18層の積層板である。

引張試験結果を表-1に示す。表よりAFRPの引張強度は平均で3497kgf/cm²で、比重1.25より比強度は2798kgf/cm²となる。またSS400材では、比重7.85より引張強度を4100 kgf/cm²とすると比強度は522kgf/cm²となり、AFRPの比強度は軟鋼の5.4倍の値を有し、継手部にAFRPを用いることによって構造物の軽量化を図ることができる。

図-2に供試体1の応力-ひずみ曲線を示しているが、破壊に至るまでほぼ弾性的な挙動を示し脆性破壊する。

3. ラグスクリークのせん断試験

ラグスクリークの剛性を求めるために一面せん断試験を行った。図-3に示すように、集成材を主材としAFRPを側材に用い、木材の繊維に直角方向に挿入したφ9×90mmのラグスクリーク本数は片面1本と2本の場合を対象とし、木材の繊維に平行方向に加力した。主材に用いた材料は、後述の曲げ試験体と同じ秋田杉を使用した集成材である。ダイヤルゲージを主材の中央部と、側材に固定したアングルに接触させ、主材と側材間の相対変位をすべり量とし1/1000mmの精度で測定した。

ラグスクリークと主材上縁部までの距離 e_1 を規準値の $e_1 \geq 7d$ ⁵⁾ (d =ラグスクリーク径)より $e_1=7\text{cm}$ とし、主材と側材を接着剤を使用せずラグスクリークだけで接合し、縁端距離 e_2 を $1.5d$, $2d$, $2.5d$ (主材と側材の厚さ $t=2.7, 3.6, 4.5\text{cm}$)と変化させた場合の一面せん断試験の結果を図-4に示す。破壊性状はすべて木材の繊維に平行方向のせん断破壊であった。木質構造設計規準⁶⁾によると、アラミド繊維と木材のラグスクリーク接合に関する規定はなく、鋼板と木材のラグスクリーク

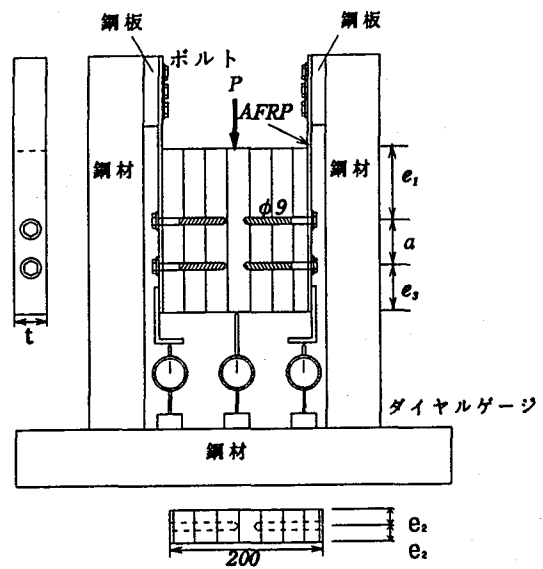


図-3 せん断試験一般図

ユー接合の場合、 $e_2 \geq 1.5d$ となっている。また、 $\phi 9$ mmのラグスクリューに対し打ち込み長さが9 cmの場合、長期許容せん断耐力は192kgfである。図より $e_2 = 1.5d$ の試験体で規準値の2.8倍、 $2d$ で3.7倍、 $2.5d$ で5.4倍となっており、繊維方向に加力する場合、強度のばらつきを考慮すれば $e_2 = 2d$ 以上は必要と思われる。また、ラグスクリューに働く力が小さい領域では荷重—すべり関係は直線とみなしてよいと考えられる。図中の $Q_1 = 8330 \text{ kgf/cm}$ は、 $e_2 = 2.5d$ に対する $P = 0 \sim 650 \text{ kgf}$ までの荷重—すべり曲線の傾きより求めたラグスクリュー1本 ($P/2$) の剛性値を示している。また図中の Q_2 から Q_4 も同様に各荷重レベルにおける剛性値を示す。

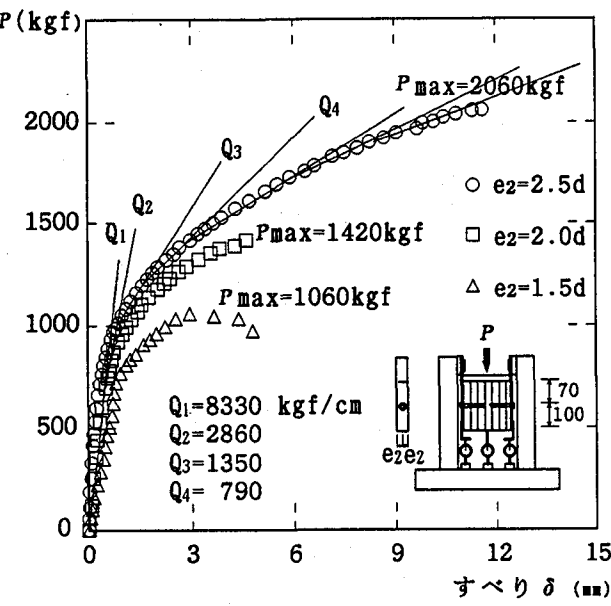


図-4 荷重—すべり曲線

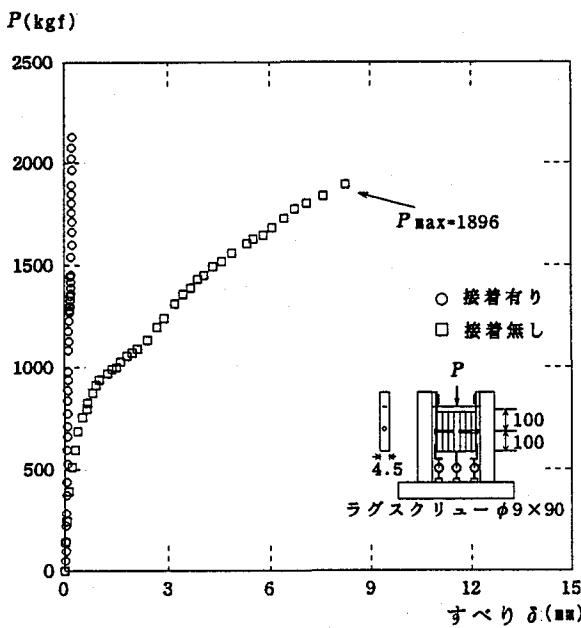


図-5 荷重—すべり曲線

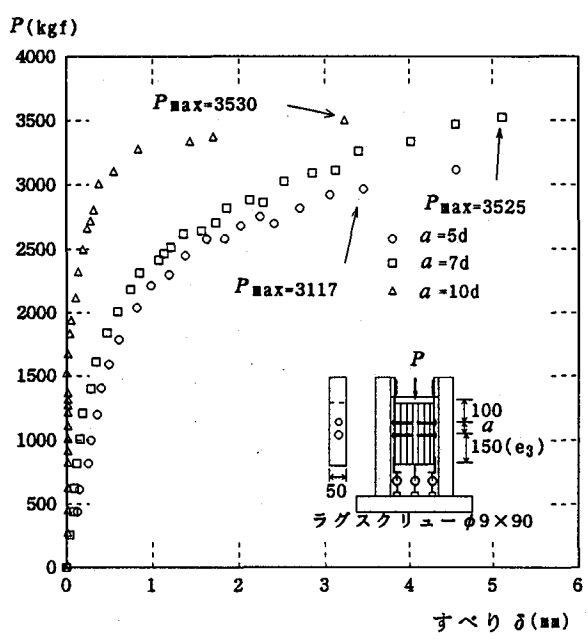


図-6 荷重—すべり曲線

図-5は、主材の木部と側材のAFRPを接着した場合と接着剤を用いない場合の荷重—すべり曲線を示す。図-4に示した試験結果より、 $t = 4.5 \text{ cm}$ ($e_2 = 2.5d$)、 $e_1 = 10 \text{ cm}$ の試験体とし、 $\phi 9 \times 90 \text{ mm}$ のラグスクリューは片面1本である。ラグスクリューだけで接合した試験体は最大荷重1.9tfで木部の繊維に平行方向のせん断により破壊した。図-4で示した試験体は $e_1 = 7 \text{ cm}$ で、 $e_2 = 2.5d$ に対する最大荷重2.06tfはこの図の最大荷重1.9tfよりやや大となっており、規準値の $e_1 \geq 7d$ で十分な強度が期待できると考えられる。図より、 $P = 500 \text{ kgf}$ 付近までは両者の剛性値はほぼ等しい値を示しており、エポキシ樹脂で接着した試験体は、2.2tfまですべり変位は線形的ですべりに対する接着剤の効果が見られる。本試験では、接着剤の効果を調べるのが目的のため破壊荷重まで载荷していない。

次に、ラグスクリューを片面2本とし接着剤を用いない場合の試験結果を図-6に示す。上述の試験結果より $e_1 = 10 \text{ cm}$ 、 $t = 5 \text{ cm}$ とし、ラグスクリュー間隔 a を $5d$ 、 $7d$ 、 $10d$ と変化させて一面せん断試験を行った。下縁端距離 $e_3 = 6.3 \text{ cm}$ ($= 7d$) として行った試験の場合、すべて木部の割裂によって破壊し、破壊荷重をラグスクリュー本数で割った値は上記の許容値の3.1~3.5倍と低い値が得られ、下縁端距離の影響で割裂破壊が生じると考えられることから $e_3 = 15 \text{ cm}$ として再度実験を行った。鋼添接板に対する規準値 $a = 7d$ より小さい $a = 5d$ では破壊荷重は小さいが、 $a = 7d$ と $10d$ の最大荷重はほぼ等しい値が得られている。図より破壊荷重は約3500kgfで、ラグスクリュー4本のため1本当たり875kgfとすると長期許容せん断耐力の4.6倍と安全率4を上まわる結果が得られており、ラグスクリュー間隔は規準値の $7d$ を確

保すればよいと考えられる。

4. AFRPを用いた継手の基礎理論

4.1 接合部に作用する応力

図-7に示すように、AFRP板を用いた継手を有する集成材はりを考える。結合される材質は木材とAFRPであるため、それぞれに関する量には W , A なる記号を付す。AFRP板の厚さ h_A は集成材の高さ h_W に比べて十分に薄いものと仮定して集成材の接合部に作用する応力 σ を求める。

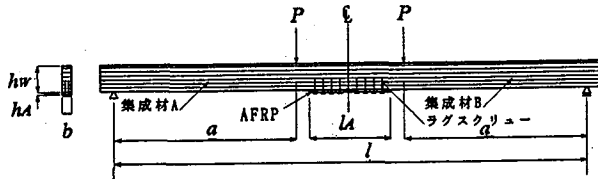


図-7 継手を有する集成材はり

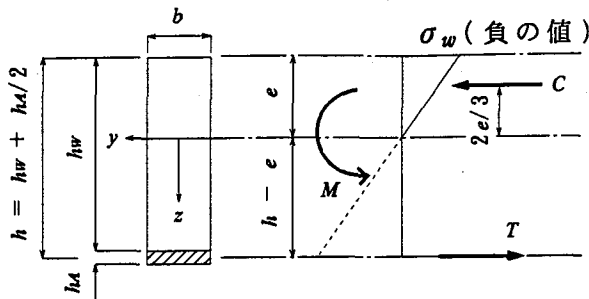


図-8 接合断面応力分布図

図-8に示すように、断面内に生じている圧縮力の合計 C は、木材上縁部の応力を σ_w とすると

$$C = \sigma_w b e / 2 \quad (1)$$

引張力の合計 T は

$$T = -\sigma_w b h_A (h - e) / e \quad (2)$$

ここで n は AFRP と木材の弾性係数比である。 $T + C = 0$ より中立軸の位置 e は

$$e = -n h_A + \{(n h_A)^2 + 2 n h_A h\}^{1/2} \quad (3)$$

これより、AFRPに作用する応力 σ_A ははりに作用する曲げモーメントを M として

$$\sigma_A = \frac{3M}{b h_A (3h - e)} \quad (4)$$

木材上縁部に作用する応力 σ_w は

$$\sigma_w = \sigma_A \frac{-e}{n(h - e)} \quad (5)$$

となる。

4.2 ラグスクリュー継手

図-9に示すように、木材とAFRP板が n 本のラグスクリューで接合されているとき、ラグスクリューの変形および降伏耐力の解析には、弾性床理論¹⁰⁾を用いたり、ヨーロッパ型降伏理論 (EYT)¹¹⁾を用いるのが一般的であるが、問題を単純化するために、そのすべり量を図-10および11のように仮定して解析を行う。

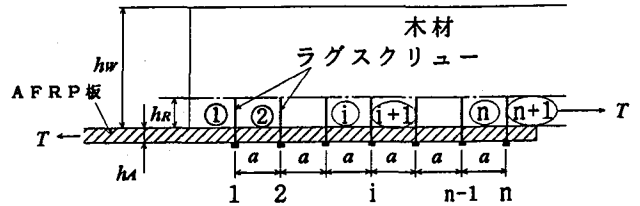


図-9 ラグスクリュー継手

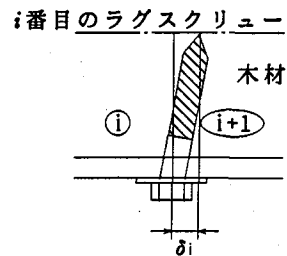


図-10 i 番目のラグスクリューのすべり量

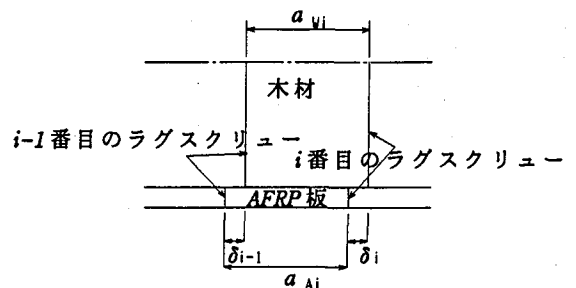


図-11 ラグスクリューのピッチ

図-9～12で、 F_i : $i-1$ と i 番目のラグスクリュー間の部材力、 N_i : i 番目のラグスクリューに加わる力、 δ_i : ラグスクリュー挿入部の両部材のすべり量である。 $i-1$ 番目のラグスクリューと i 番目のラグスクリューとの間の領域を i とし、 i 番目のラグスクリューと $i+1$ 番目のラグスクリューとの間の領域を $i+1$ とする。また、ラグスクリューの木材への挿入長さを h_R とする。2 ラグスクリュー間で、図-12より

$$F_{wi} + F_{Ai} = T \quad (6)$$

木材中のラグスクリューに働く力は、図-12より

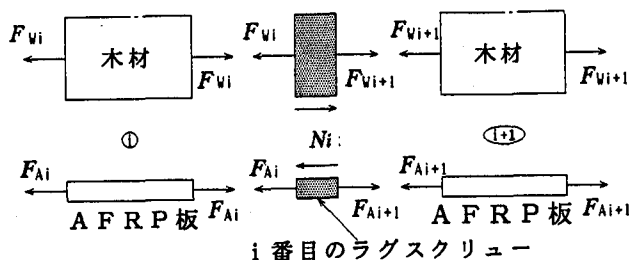


図-12 作用力

$$F_{wi+1} - F_{wi} = N_i \quad (7)$$

ただし

$$F_{w1} = F_{An+1} = 0, \quad F_{wn+1} = F_{A1} = T \quad (8)$$

すべり量 δ_i は、ラグスクリューに加わる力 N_i に比例して生じるものとして、面圧定数 k を用いて表せば

$$N_i = kidhr \delta_i \quad (9)$$

ここで、 d はラグスクリューの径、 $kidhr$ は3章のせん断試験から得られるラグスクリューの剛性値である。

ラグスクリューピッチの変化とすべり量の関係は図-11より

$$a_{Ai} + \delta_i = a_{wi} + \delta_{i-1} \quad (10)$$

木部とAFRPのひずみは、木部の断面積を $A_w = bh_w$ 、AFRP部の断面積を $A_A = bh_A$ として図-12より

$$\varepsilon_{wi} = \frac{a_{wi} - a}{a} = \frac{F_{wi}}{E_w A_w} \quad (11)$$

$$\varepsilon_{Ai} = \frac{a_{Ai} - a}{a} = \frac{F_{Ai}}{E_A A_A} \quad (12)$$

式(10)より、

$$(a_{wi} - a) - (a_{Ai} - a) = \delta_i - \delta_{i-1} \quad (13)$$

式(13)に(11)と(12)を代入すると

$$\frac{a F_{wi}}{E_w A_w} - \frac{a F_{Ai}}{E_A A_A} = \delta_i - \delta_{i-1} \quad (14)$$

式(7)と(9)よりすべり量は

$$\delta_i = \frac{F_{wi+1} - F_{wi}}{kidhr} \quad (15)$$

$$\delta_{i-1} = \frac{F_{wi} - F_{wi-1}}{ki-1 dhr} \quad (16)$$

式(15)と(16)を式(14)に代入し、式(6)を用いて F_{Ai} を消去すると

$$F_{wi-1} - (\gamma_{i+1} + \alpha_i + \beta_i) F_{wi} + \gamma_i F_{wi+1} = -\beta_i T \quad (17)$$

ここで、 $\gamma_i = ki-1/ki$ 、 α_i と β_i は無次元量で

$$\alpha_i = \frac{akidhr \gamma_i}{E_w A_w}, \quad \beta_i = \frac{akidhr \gamma_i}{E_A A_A}$$

式(17)と(8)より部材力 F_{wi} を求めると式(7)からラグスクリューに作用する力 N_i 、式(15)と(16)よりすべり量が得られる。後述の曲げ試験体の $n = 4$ の場合の結果のみを示すと

$$F_{w1} = 0$$

$$F_{w2} = \frac{-\beta_2 T - \gamma_2 F_{w3}}{d_2}$$

$$F_{w3} = \frac{d_2 d_4 \beta_3 - d_2 \beta_4 \gamma_3 - d_2 \gamma_3 \gamma_4 - d_4 \beta_2}{d_2 \gamma_3 + d_4 \gamma_2 - d_2 d_3 d_4} T$$

$$F_{w4} = \frac{-\beta_4 T - \gamma_4 T - F_{w3}}{d_4}$$

$$F_{w5} = T$$

ここで、 $d_i = -(\gamma_{i+1} + \alpha_i + \beta_i)$ であり、AFRP部に作用する力 F_A は式(6)より得られる。木部およびAFRP部に作用する応力は、木部に作用する応力が1次直線的に変化すると仮定すると、ラグスクリュー先端からの距離を c として

$$\sigma_{wi} = \frac{2F_{wi}}{bhr^2} c$$

$$\sigma_{Ai} = \frac{F_{Ai}}{bh_A}$$

ここで $i = 2 \sim 5$ で、 $i = 1$ の場合は4.1で示した接合部に作用する応力となる。

5. AFRPを継手部に用いたはりの曲げ試験

集成材の継手にAFRPとラグスクリューを用いたはりの継手部の性能を調べるために、曲げ破壊試験を5ケース行った。曲げ破壊試験を行う前に小荷重による集成材の曲げ試験を行い、集成材のヤング係数とせん断弾性係数を求めた。曲げ破壊試験体の作成は、ヤング係数の値が同程度の $7 \times 20 \times 185 \text{cm}$ (ケース1と2は $7 \times 28 \times 185 \text{cm}$) の集成材2本を用い、支間 350cm の中央部で2本の集成材を突き合わせ、集成材の下縁部をAFRPと $\phi 9 \times 90 \text{mm}$ のラグスクリュー16本で連結した。ケース2、4、5はエポキシ樹脂接着剤を用いてAFRPと集成材を接着し、適当に圧縮しながら1週間養生後、ケース1と3と同様にラグスクリュー16本で接合した。ただしケース5は、ケース3の曲げ破壊試験終了後、試験体を解体し圧縮側と引張側、支点側と支間中央側をそれぞれ

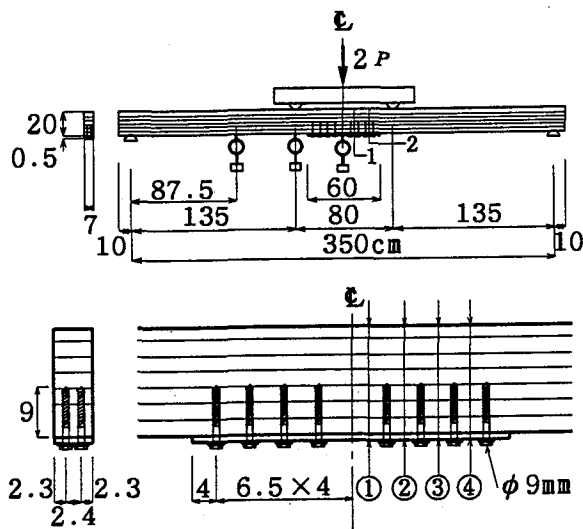


図-13 曲げ破壊試験体一般図

反対にして再度作成したもので、ケース3と同じ材料を用いた試験体である。

載荷方法は、継手部分にせん断力が作用しないように図-13に示すように2点載荷とし、載荷点間の距離が80cm、支点と載荷点間の距離を135cmとした。

5.1 試験結果

ケース1と2は、AFRPの引張破壊を想定して行った実験であるが、接着剤を用いずラグスクリュー接合だけのケース1では、最大荷重 $P = 1090\text{kgf}$ で載荷点付近の引張側の節により木部で曲げ破壊した。

図-14は、ラグスクリューと接着剤の接合によるケース2の荷重-たわみ曲線を示しているが、 $P = 1362\text{kgf}$ で支間中央側のラグスクリュー挿入部のAFRPが引張

で脆性破壊した。図中の破線は、支間350cmの継手のない集成材はりに対する曲げとせん断によるたわみの計算値で、実線はラグスクリューのすべりによって生じるたわみを破線の値に加算した計算値である。ここで、図-4の荷重-すべり曲線の初期の傾きから得られるラグスクリュー1本当たりの剛性値 $Q_1 = k_1 d h_R = 8330\text{kgf/cm}$ を用い、式(9)と(15)よりラグスクリューに作用する力とラグスクリューのすべり量を求め、仮想仕事の原理を用いて計算を行った。図より、すべりによるたわみは曲げとせん断による値の40%程度と大きな値となっておりたわみに及ぼすすべりの影響は無視できないことがわかる。終局時のAFRP部の引張応力は 2745kgf/cm^2 となっており、引張試験から得られた引張強度 2770kgf/cm^2 とほぼ等しい値で破壊した。ただし、2.の引張試験で用いたAFRP（引張強度 3497kgf/cm^2 ）はケース3～5に使用したものと同じ製品であるが、ケース1と2で使用したAFRPはこれと別製品である。

ケース3から5は、集成材の高さを28cmから20cmに減じて木部で破壊することを想定して行った実験である。図-15は、ケース3のラグスクリューのみで接合した試験体の荷重-たわみ曲線を示しているが、 $P = 659\text{kgf}$ で支点側のラグスクリュー挿入部付近において木部が曲げ破壊した。図中の破線と実線は図-14と同様な計算値であり、 Q_1 を用いた計算値の実線は荷重が小さい範囲で実験値とほぼ一致するが、 $P > 200\text{kgf}$ でたわみ曲線は非線形性を示しており、ラグスクリューの剛性の変化が影響していると考えられる。なお、継手の無い集成材の曲げ強度は、対称異等級構成集成材のE105-F300¹²⁾（曲げヤング係数 $= 105000\text{kgf/cm}^2$ 、曲げ強度 $= 300\text{kgf/cm}^2$ ）とするとこれに対する曲げ破壊荷重は 1067kgf で、

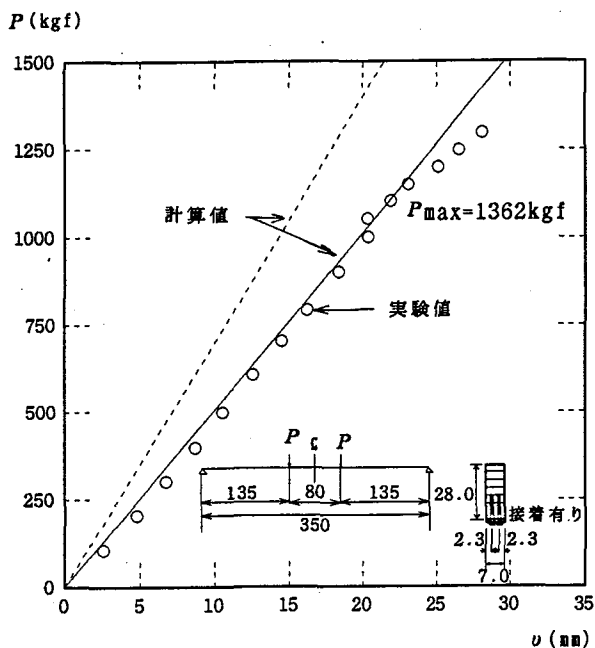


図-14 支間中央のたわみ（ケース2）

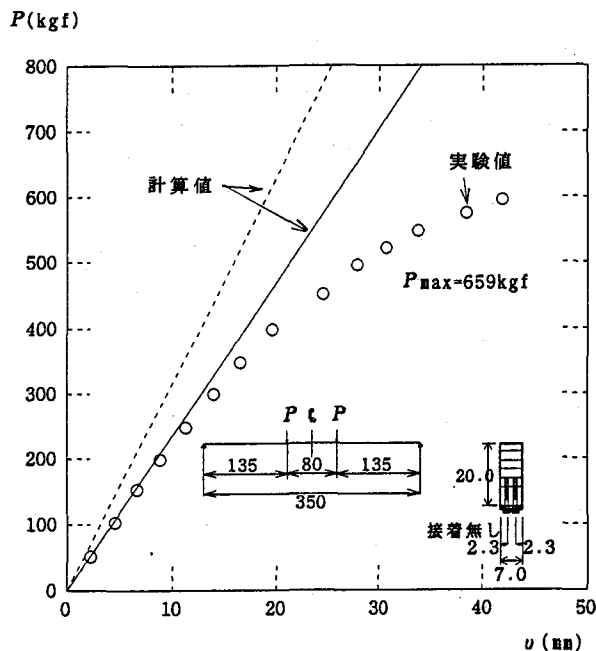


図-15 支間中央のたわみ（ケース3）

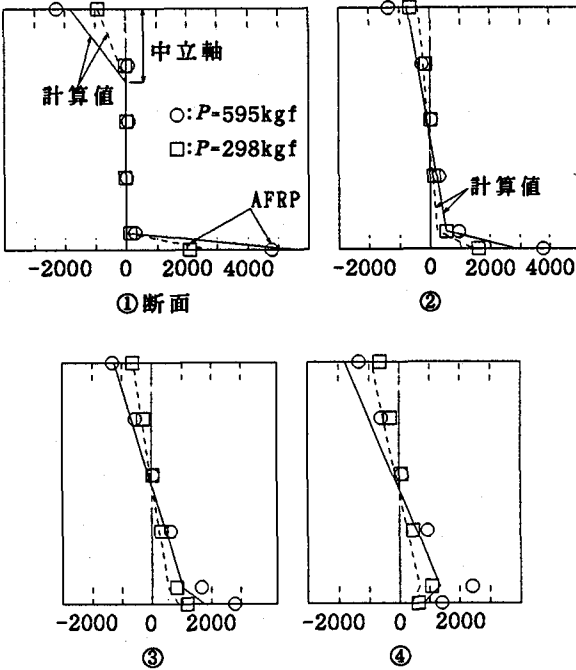
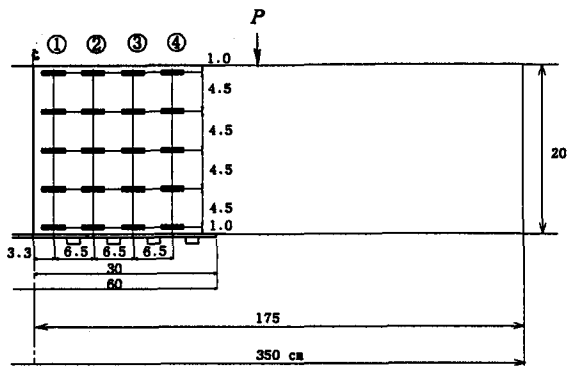


図-16 断面内ひずみ分布 (ケース3)

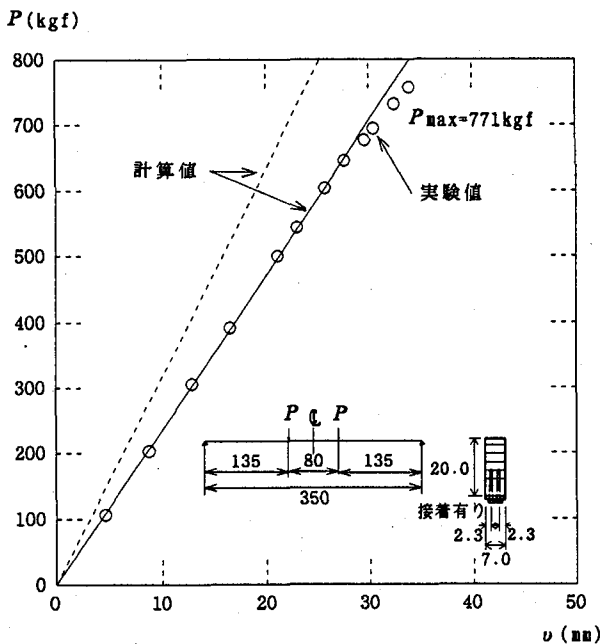


図-17 支間中央のたわみ (ケース5)

実験値の破壊荷重はこれの62%である。

ケース3の断面内ひずみ分布の実験値と計算値を図-16に示しているが、①断面では式(4)と(5)よりひずみを求め、②～④断面では、ラグスクリューの影響を考慮した式を用いて計算を行った。AFRPに作用する力 F_A の計算値は $F_{A1} > F_{A2} > F_{A3} > F_{A4}$ となり、これより断面内のひずみ分布を求めると、図に示したように④断面の下縁部だけひずみ量が減少するが、図より $P = 298\text{kgf}$ (破壊荷重の45%) に対する実験値と計算値はほぼ一致していることがわかる。

接着剤を併用したケース4の破壊状態もケース3と同様に、最大荷重711kgfで木部の曲げ破壊であった。ケース5は前述のようにケース3と同じ試験体を用い、接着剤を併用した曲げ試験であり、図-17に支間中央の荷重-たわみ曲線を示す。接着剤を用いた場合、図-15と異なり初期の傾きから得られるラグスクリューの剛性値だけを用いた計算値で実験値をほぼ説明できることがわかる。終局状態は、最大荷重771kgfでラグスクリュー部周辺の木部で鉛直方向への割裂により破壊した。この最大荷重は、前述のように継手の無い集成材に対する予想曲げ破壊荷重の72%である。

5.2 ラグスクリュー剛性の変化を考慮したたわみ

図-4に示したラグスクリューの剛性値が $Q_1 = 8300\text{ kgf/cm}$ の場合のラグスクリューに加わる力 N_i を式(7)より求めると、1番目のラグスクリューに作用する力 N_1 が最大で $N_1 = 0.323T > N_2 = 0.257T > N_3 = 0.218T > N_4 = 0.203T$ となる。次に1番目のラグスクリューの剛性値が Q_1 から $Q_2 = 2860\text{ kgf/cm}$ に変化し、他の3本の値は Q_1 のままとすると $N_2 = 0.327T > N_3 = 0.276T > N_4 = 0.255T > N_1 = 0.142T$ となるが、このときの N_2 は Q_1 に対する N_1 より大で2番目のラグスクリューも

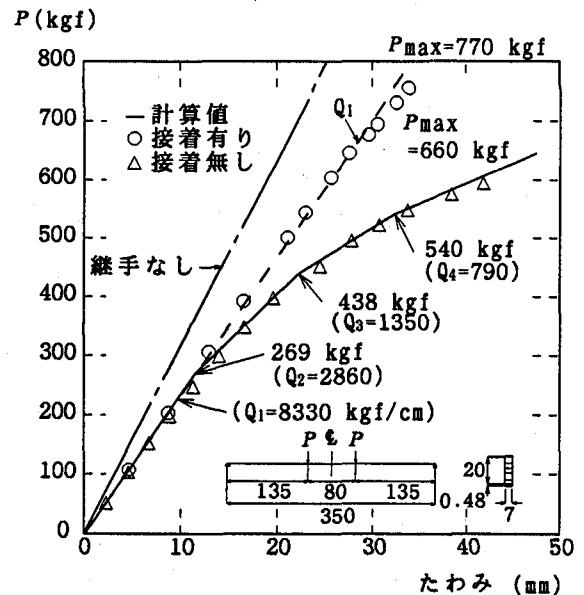


図-18 支間中央のたわみ (ケース3)

Q_1 から Q_2 に変化する。以下同様な計算を繰り返すと、本継手の場合1番目のラグスクリューの剛性値が Q_1 から Q_2 に変化すると同時に他の3本のラグスクリューの剛性値も全て Q_1 から Q_2 に変化する計算結果となる。

以上のことを用い、図-4の Q_1 から Q_4 に対する荷重の大きさとケース3の曲げ破壊試験における荷重の大きさの関係を求め、 Q_1 から Q_4 を用いて計算したたわみの計算値を図-18の実線で示す。△の実験値は図-16に示したものと同じであり、比較のために図-17で示したケース5の実験値と計算値も示している。図より Q の変化を考慮した計算値は実験値をほぼ説明できる結果となっている。また、図-16で示したひずみ分布の計算値は Q_1 を用いて得られたものであるが、 Q の変化を考慮した計算値との差は10%程度である。

6. あとがき

大断面集成材の継手部にAFRPを使用した場合を想定し、ラグスクリューを用いた接合に関して各種の実験と解析を行った。得られた結果をまとめると以下のようになる。

(1) AFRPの引張試験より、応力-ひずみ曲線は木材と同様に破壊に至るまで弾性的な挙動を示し、脆性破壊する。

(2) ラグスクリューの一面せん断試験の結果、繊維方向に加力する場合の繊維直角方向の縁端距離 e_2 は、鋼板と木材のラグスクリュー接合に対する規準値 $e_2 \geq 1.5d$ より大きくする必要があることが明らかになった。また、ラグスクリュー間隔 a は規準値の $a \geq 7d$ で十分な強度が得られることが明らかになった。

(3) 集成材の継手にAFRPとラグスクリューを用いたはりの曲げ試験を行った結果、エポキシ樹脂接着剤を使用して接合したはり、接着剤の効果によりラグスクリューのすべりを拘束するため、初期のラグスクリューの剛性値 Q_1 だけを考慮して得られるたわみの計算値は実験値とほぼ等しい値が得られた。また、接着剤を用いずラグスクリューだけで接合したはり、最大荷重の40%付近からたわみ曲線が非線形性を示すが、せん断試験から得られるラグスクリューの剛性値の変化を考慮した計算値で実験値をほぼ説明できる。

以上、今回行った実験は小試験体で試験体数も少ない

が、継手部の強度に及ぼすAFRPの板厚、ラグスクリュー径と打込み長さおよび使用本数等については今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会：木構造設計規準・同解説，1973.
- 2) 薄木征三，小松幸平，鍵和田功，佐々木貴信：集成材アーチリブのII形挿入鋼板を用いたドリフトピン接合，構造工学論文集，Vol. 41A，pp. 915-922，1995.
- 3) 薄木征三，佐々木貴信，長谷部薫，大原真也：鋼板、樹脂およびピンによる集成材主桁の接合，構造工学論文集，Vol. 44A，pp. 1241-1250，1998.
- 4) 川元紀雄夫：鋼板挿入式ドリフトピン接合，木構造設計資料FA-6，日本住木センター，1991.
- 5) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，1995.
- 6) 徳田迪夫，平嶋義彦，松原弘：ラグスクリュー接合部の接合耐力（第1報）木材繊維に平行なせん断力に対する接合性能の実験的研究，木材学会誌，35(6)，pp. 473-481，1989.
- 7) 徳田迪夫，平嶋義彦，宮越光豊：ラグスクリュー接合部の接合耐力（第2報）木材繊維に垂直なせん断力に対する接合性能の実験的研究，木材学会誌，35(6)，pp. 482-488，1989.
- 8) 佐藤雅俊，宮村雅史，葉多修司，森和雄：ラグボルトの強度特性(I)曲げボルトとしての耐力の評価，建築学会学術講演梗概集（関東），構造I，pp. 2691-2692，1984.
- 9) 佐藤雅俊，宮村雅史，森和雄，葉多修司：ラグボルトの強度特性(II)引抜き耐力の評価，建築学会学術講演梗概集（関東），構造I，pp. 2693-2694，1984.
- 10) T. L. Wilkinson: Theoretical lateral resistance of nailed joints, J. of the structural Div., ASCE, ST5, pp. 1381-1398, 1971.
- 11) H. J. Larsen: The yield load of bolted and nailed joints, IUFRO-5, Congress, pp. 646-654, 1973.
- 12) 日本合板検査会：構造用集成材の日本農林規格，pp. 36，1996.

(1998年9月18日受付)