第I部門　　接着スタッドを用いた木部材の二面せん断継手における接着部耐力評価

京都大学大学院工学研究科　学生員　○飼原　朗允
京都大学大学院工学研究科　正会員　佐藤　顕彦
メイドー（株）　非会員　長谷川　靖高
京都大学大学院工学研究科　正会員　松本　理佐
京都大学大学院工学研究科　正会員　北根　安雄

1. 研究背景および目的

日本の近代木橋では，ボルト等の接合具を用いた接合が一般的に用いられている．このような接合の欠点として，母材のボルト孔が破壊の起点となることが挙げられる [1]．特に，木材は木目に沿った割裂破壊が起こりやすく，縁端を十分に設けない場合は，孔を明けた場合の強度の低下が顕著に表れやすい．

そこで，本研究では接着スタッドに着目した．接着スタッドは，構造上母材に孔を明ける必要がなく，先述した懸念点の克服が期待できる．また，接着のみで設置可能であり任意の場所に適用しやすく，添接板の交換も容易であることから，木橋の劣化部の補強に適しているといえる．本研究では，接着スタッドを用いた木部材用継手の接着部耐力評価のため，スタッドの面外引張試験と二面せん断継手のせん断引張試験を実施し，両者のスタッド接着層におけるはく離応力を比較した．

2. 試験体及び実験概要

本研究では，継手の母材として JAS 規格 [2]の等級が E65-F255 であるスギ集成材を使用した．集成材において材料試験を実施した結果，引張強度が 68.06 MPa，引張弾性率が 10.79 GPa となり，E65-F255 における JAS 規格の設計基準値である 25.5 MPa，6.5 GPa をともに満たしていた．

2.1. 面外引張試験

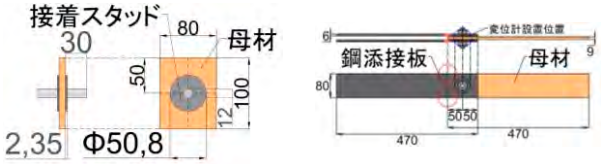
面外引張試験で用いた試験体の概要を図-1(a)に示す．スタッド軸部と底板の材質は SUS316 である．接着には，アクリル樹脂接着剤 CB420-50E を用いた．CB420-50E のテクニカルデータを表−1 に示す．接着後，20℃で 1 週間以上養生した．試験体は 3 体製作した．

試験機は島津製作所製オートグラフ AG-XPlus（最大荷重 50 kN）を使用し，載荷速度は 1 mm/min とした．

2.2. 二面せん断継手の引張試験

本研究で検討する接着スタッドを用いた二面せん断継手を図-1(b)に示す．添接板両側面の赤丸部に，ひずみゲージを貼付し，青丸部に変位計を設置した．試験体は 3 体ずつ製作した．スタッドのボルト径 12 mm に対し，鋼添接板（SS400）の孔の直径は 13 mm とした．試験体製作時，面外引張試験と同様の手順で母材にスタッドを接着した．その後，添接板をスタッドに設置し，10 N･m のトルクをナットに与え締め付けた．

試験機は東京衡機製の油圧式万能試験機（最大荷重 1000 kN）を使用し，載荷速度は約 2 mm/min とした．載荷中は試験，荷重，スタッド付近における母材と添接板の相対変位，ひずみを計測した．



(a) 面外引張試験　　(b) 継手試験体

図-1　試験体寸法図（寸法単位：mm）

表−1　接着剤のテクニカルデータ

せん断接着強さ	はく離強さ	使用可能温度
21.0 MPa	4.9 kN/m	-40℃~121℃

3. 試験結果と考察

3.1. 面外引張試験

表−2 に，面外引張試験の最大荷重から得られたはく離応力を示す．応力については，各試験体の接着層の直径を計測することで得た断面積をもとに求めた．

また，載荷後の破壊性状を図-2 に示す．この時，接着層内では破壊せず，集成材接着層界面と母材内での破壊が混在していた．沢田の研究 [3]では，スギ材の繊維直交方向の引張強度は 2.55 MPa とされており，表−2 の平均値 1.50 MPa と差がみられる．これは，試験において接着層端部に応力集中が生じており，接着面における応力が均等ではなかったからだと考えられる．

Kaihara Akimasa, Sato Akihiko, Yasutaka Hasegawa, Risa Matumoto, Yasuo Kitane
Kaihara.akimasa.22u@st.kyoto-u.ac.jp

表−2　面外引張試験結果

	WI	WII	WIII
最大応力[MPa]	1.74	1.39	1.38
応力平均[MPa]	1.50		
変動係数	0.111		



(a)WI　(a)WII　(a)WIII

図-2　面外引張試験体の破壊性状

3.2. 二面せん断継手の引張試験

各試験体での載荷中に初めて破壊音が生じた時点の荷重を表−3 に示す．この荷重でスタッドで破壊が生じたとし，初期破壊荷重と呼称する．また，各試験体での荷重-相対変位関係を図−3 に示す．図−3 中の黒点線は初期破壊荷重を表す．この時，W1-2 のみ初期破壊荷重において，相対変位の急激な変化がみられた．

表−3 が示す初期破壊荷重において，スタッド接着層端部に働くはく離応力を求める．図−4(a)に，各スタッドが負担する荷重の概要図を示す．図-1(b)に示すゲージ貼付位置における，添接板の左右のひずみの平均εから同箇所の軸力N[kN]は，以下の式(2)より求まる．

$$N = E_s A_s \varepsilon \qquad (2)$$

ここで，E_s：添接板の弾性率[GPa](=194.3 GPa)，A_s：添接板の断面積[mm²]である．図−4(a)より，それぞれの添接板の軸力は各スタッドに働くせん断荷重Pと一致するとし，両添接板において$N = P$とした．

次に，スタッドにおける荷重と接着層端部に働くはく離応力の関係図を図−4(b)に示す．なお，せん断荷重Pの作用線は添接板中央にあると仮定し，モーメントM[N・mm]の腕の長さは 5.35 mm とした．ここから，はく離応力σは以下の式(3)より求められる．

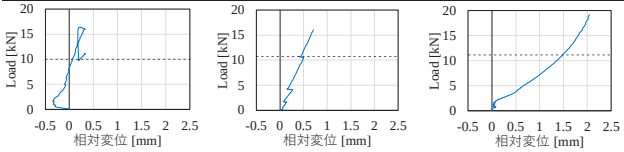
$$\sigma = M/Z = (P \times 5.35)/(\pi R_s^3/32) \qquad (3)$$

ここで，Z：円の断面係数[mm³]，R_s：接着面の直径[mm]である．なおR_sは面外引張試験での接着面の直径の平均値を用い，55.74 mm とした．図−4(a)が示す表，裏のスタッドに働くはく離応力をそれぞれσ_f，σ_bとし，その値を表−3 に示す．このとき表−3 より，全ての試験体について，σ_bがσ_fを上回っている．よって，初期破壊時は全て裏面ではく離が生じたと考えられる．

図−5 に，各試験体の破壊性状を示す．全てのスタッドについて，図-2 に示す面外引張試験体と同様に母材から破壊が生じた．従って，両試験ともスタッドのはく離は，木材の強度が支配的であると考えられる．

表−3　破壊音観測時の載荷荷重とはく離応力

	1 体目	2 体目	3 体目
載荷荷重[kN]	10.03	10.69	11.14
σ_f[MPa]	0.95	1.26	0.38
σ_b[MPa]	1.46	1.36	2.26



(a)W1-1　(b)W1-2　(c)W1-3

図−3　荷重−相対変位線図



(a)各スタッドの荷重　(b)はく離応力

図−4　はく離応力計算過程の概要図

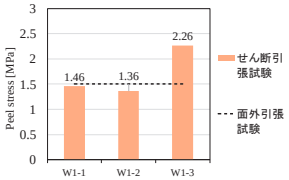


(a)W1-1　(b)W1-2　(c)W1-3

図−5　二面せん断継手の破壊性状

3.3. 両試験結果の比較

表−2 に示す面外引張試験結果と，表−3 に示す継手の初期破壊時のはく離応力を比較する．図−6 にそれぞれの結果を示す．図中に，面外引張試験結果の平均値 1.50 MPa を黒点線で表している．W1-1，W1-2 については両者の結果が概ね一致している．一方，W1-3 では両者の数値に乖離が見られる．表−3 より，W1-3 においてσ_fとσ_bの数値に大きく差が生じており，試験時における表裏での荷重の偏りが読み取れる．従って，スタッドの応力分担状況が初期破壊に影響していると考えられる．これを踏まえ，偏心の影響を考慮した上で，初期破壊から最大荷重に至るまでの接着部耐力や挙動について調べることを今後の課題とする．



図−6　はく離応力の比較図

参考文献

1) 北守顕久：木質構造と接合技術，日本接着学会誌，Vol.55, No.9，pp.330-337，2019.

2) 農林水産省：集成材の日本農林規格

3) 沢田稔：木材の強度特性に関する研究，林業試験場研究報告，108 号，pp.115-224，1958.