

繊維材料と金物とを併用した住宅耐震補強技術の開発 (第2報)

柳川靖夫

在来軸組工法の隅柱における柱と横架材との接合部を、繊維材料で補強する技術を開発した。まず、引きボルトを使用した柱-横架材接合部の強度に影響を及ぼす因子として、柱の種類および背割りの有無について検討した。次に、補強材としてポリビニルアルコール繊維 (PVA) を使用した織布を使用し、柱-横架材接合部に織布を接着して、あるいは織布を繊維強化プラスチック (FRP) に加工した後に接着して同接合部を補強した。接着剤には2液型エポキシ樹脂接着剤を使用した。補強材形状や使用量、あるいは接合部への接着方法が柱-横架材接合部の強度に及ぼす影響を検討した。柱-横架材接合部の引張試験の結果、ヒノキ柱はスギ柱よりも高い強度を示した。また、スギ背割り柱はスギ背割り無し柱よりも低い強度を示した。FRPの全面を接合部に接着して柱と梁とを緊結した補強試験体は、無補強試験体と比較して初期剛性は増加したものの、接合部の粘り強さは向上せずむしろ減少した試験体も出現した。これは、補強材の縦弾性率が高かったため補強材が負担した荷重も大きくなり、そのため、無補強試験体よりも小さい変形で補強材が柱からはく離したためと推測された。同じくFRPを補強材とし、その長さ方向両端部を柱および梁にそれぞれ接着し、中央部分を長さ100~300mmの範囲で接着しなかった補強試験体では、補強材の引張破壊や柱からの補強材のはく離が発生し、補強効果は認められなかった。これらに対し、補強材にPVA織布を使用し、長さ方向の両端部を柱に取り付く2本の横架材にそれぞれ接着し柱には接着しなかった補強試験体は、無補強試験体より大きな最大荷重および初期剛性を示し、接合部の粘り強さは同等以上であった。

1. はじめに

近年、在来軸組工法の耐震性の向上に関する技術開発が進展している。それらでは耐力壁や接合部の構成が研究されており、在来軸組工法で強化対象となる接合部としては、①柱と土台との接合部 (以下「柱-土台接合部」とする)、②柱と梁、桁、あるいは胴差との接合部 (以下「柱-横架材接合部」とする) 等が挙げられる。この中、①については多くの金物等が開発され、また、繊維材料による強化も実用化あるいは研究されている^{1,2,3)}。②についても新規金物等を使用した工法あるいは繊維材料による補強技術²⁾が実用化されている。しかし、中小工務店が施工する在来軸組工法の柱-横架材接合部には、プレカット加工された仕口と引きボルトあるいは羽子板ボルトとの組み合わせも多く使用されていると思われる。これら金物は施工が容易で必要な強度が確保できるものの、背割りが柱-横架材接合部の強度に及ぼす影響、あるいはプレカット加工による柱での切り欠きが同接合部に及ぼす影響については危惧される点である。特に、隅柱が通し柱である場合、耐力上重要な柱にもかかわらず2方向から横架材が取り付くため切り欠きが多く、また背割りを行った柱 (以下「背割り柱」とする) で引きボルトを使用した場合、

一つの引きボルトは背割り部分に位置することになる。住宅の長期使用を考慮した場合、通しの隅柱における柱-横架材接合部の強度を高めることは耐震性を向上させる有用な対策と考えられる。その方法は、低コストであるのみならず効果が長期間持続することが必要である。著者等はポリビニルアルコール (以下PVAとする) 繊維を使用した織布を補強材とし、これと金物とを併用した接合部の開発に取り組んできた。PVA織布と木材との接着耐久性は高いため、PVA織布による補強効果は長期間持続するものと考えられ、また、PVA織布は炭素繊維やアラミド繊維より強度は低いものの価格は安く裁断等も容易である。第1報³⁾では、PVA織布と引き寄せ金物とを使用した柱-土台接合部の強度について報告した。本研究では、引きボルトとPVA織布とを使用した柱-横架材接合部の強度について報告する。

2. 材料および方法

2.1 作製した試験体

図1に作製した試験体の種類および形状を示す。柱にはスギの背割り柱および背割り無し柱、およびヒノキ背割り無し柱を使用し、いずれも気乾材で断面は

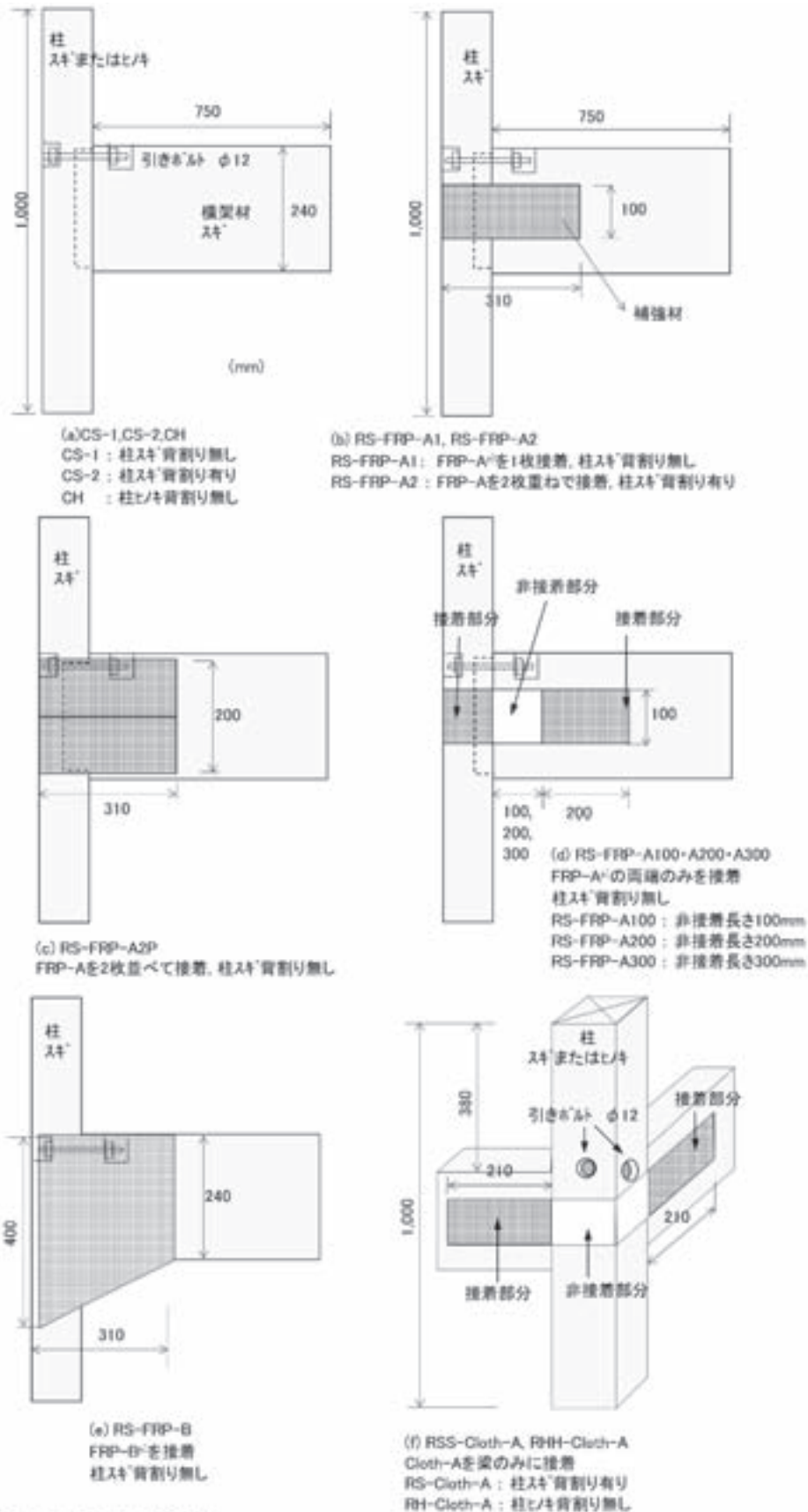


図1 作製した試験体および形状

注：横架材はすべてスキ材、幅105mm、厚さ240mm。柱はすべて105mm角。^{a)} Cloth-A：綾織り100mm幅織布、FRP-A：Cloth-Aから作製した1プライFRP、FRP-B：平織り1,000mm幅織布から作製した3プライFRP。

105×105mm、長さは1,000mmであった。通しの隅柱を想定して、隣接する2面の長さ方向中央部に横架材取り付け用のほぞ孔加工および引きボルト孔加工をプレカット工場で行った。横架材には幅105mm、厚さ240mmのスギ気乾材を使用し、一方の端部に図2に示すほぞ加工および引きボルト孔のプレカット加工を行った。ほぞを除いた横架材の長さは、引張荷重を加える材は750mmとし、もう一方は100mmもしくは250mmとした。使用したPVA繊維は(株)クラレのT-5516で、原糸の密度は1.30g/cm³、引張強度は1.55GPa、引張ヤング係数は33.8GPaであった。この原糸を使用した編み方の異なる2種類の織布を作製した。1つは幅100mmの綾織りで、もう1つは幅1,000mmの平織りであった。綾織り織布はそのまま補強材として(以下「Cloth-A」とする)、あるいは繊維強化プラスチックに加工して補強材とした(以下「FRP-A」とする)。平織り織布は繊維強化プラスチックに加工して補強材とした(以下「FRP-B」とする)。なお、FRP-AおよびFRP-Bのマトリックス樹脂には汎用エポキシ樹脂を使用し、木材との接着性能は第1報³⁾のとおりである。

作製した試験体は図1に示す全12種類で、この中CS-1、CS-2、およびCHは無補強試験体である。補強試験体の作製手順は下記のとおりとした。

- ① 柱と横架材とをφ12mm、長さ300mmの全ネジボルトで仮止めする。
- ② 補強材を接着する木材表面を#120サンダーで研削する。



図2 横架材接合部の仕口

- ③ 補強材を接着する部分に2液型エポキシ樹脂接着剤((株)オーシカ製TE-9)を、Cloth-Aでは600g/m²、FRP-AおよびFRP-Bでは400g/m²塗布し、所定の寸法に調製した補強材を堆積した後テープで仮止めする。
- ④ 補強材と同寸法で厚さ20mmのポリエチレン板を補強材上に堆積し、長さ50mmの木ネジを50~100mm間隔で打ち込んで圧縮する。
- ⑤ 24時間後木ネジおよびポリエチレン板を除去する。

なお、①~⑤の作業は20℃以上の雰囲気中で行い、作製した試験体は20℃以上の雰囲気中に1週間以上静置した後に引張試験に供した。なお、図1(b)~(f)中の各補強試験体に使用した補強材の種類、寸法および使用量は以下のとおりであった。

(b) RS-FRP-A1：補強材FRP-A(幅100mm、長さ310mm)1枚

RS-FRP-A2：補強材FRP-A(幅100mm、長さ310mm)2枚重ね

(c) RS-FRP-A2P：補強材FRP-A(幅100mm、長さ310mm)2枚並行

(d) RS-FRP-A100・A200・A300：補強材FRP-A(幅100mm、長さ：A100は405mm、A200は505mm、A300は605mm)いずれも1枚

(e) RS-FRP-B：補強材FRP-B(横架材側幅240mm、柱側幅400mm、長さ310mm)1枚

(f) RSS-Cloth-A・RHH-Cloth-A：補強材Cloth-A(幅100mm 長さ630mm)1枚

これら補強試験体の中、RS-FRP-A1、RS-FRP-A2、RS-FRP-A2P、およびRS-FRP-Bでは補強材全面に接着剤を塗布して接着した。RS-FRP-A100・A200・A300では、図1(d)に示すとおり補強材中間にそれぞれ長さ100、200および300mmの非接着部分を設けた。また、RSS-Cloth-AおよびRHH-Cloth-Aは横架材のみにCloth-Aを接着し、柱部分是非接着とした。

引きボルトには径12mm長さ300mmのZマーク表示金物を、座金にはW4.5×φ45の丸座金を使用し、無補強試験体および補強試験体とも引張試験の直前に1960N・cmの力でトルクレンチにより締め付けた。作製体数は、CS-1、CS-2、CH、RS-FRP-A1、RSS-Cloth-AおよびRHH-Cloth-Aは各4体ずつで、他はいずれも1体ずつとした。試験の終了後に柱および梁から試験片を採取して含水率を測定した。

2.2 接合部の引張試験

引張試験の方法を図3に示す。

試験は木造軸組工法住宅の許容応力度設計⁴⁾に準拠

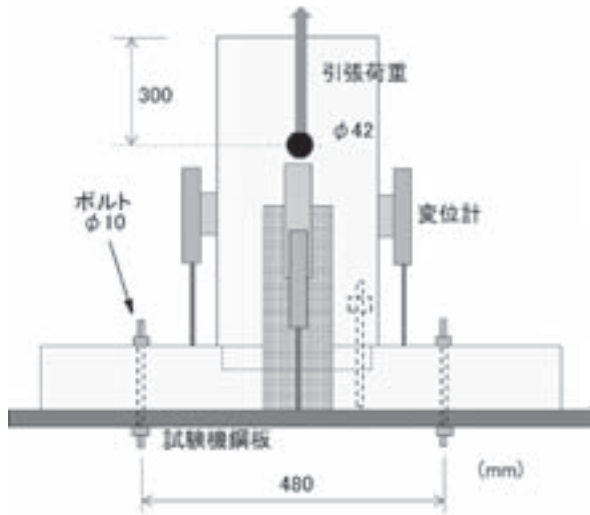


図3 柱-横架材接合部の引張試験

して実施し、各試験体とも柱中央より両側240mmの位置に径13mmの孔を開け、φ10mmボルトおよびW3.0×40角座金を使用して柱を試験機の鋼板に固定した。各試験体1体ずつを使用して一方向単調加力試験を行い、横架材と試験機鋼板との間の変位を横架材の相対する2面で測定して平均値を算出し(以下「平均変位」とする)、引張荷重-平均変位曲線に完全弾塑性モデルを適用した⁵⁾。次に、CS-1、CS-2、CH、RS-FRP-A1、RSS-Cloth-AおよびRHH-Cloth-Aの各試験体を使用して一方向繰り返し加力試験を行った。繰り返し履歴は、一方向単調加力試験における引張荷重-平均変位曲線上の降伏変位の1/2、1、4、6、8、12倍の順とし、最大荷重の80%に荷重が低下するまで、あるいは横架材のほぞが柱よ

り抜け出るまで加重した。試験体数は各3体ずつとし、試験終了後に柱および梁より試験片を採取して含水率を測定した。

3 結果と考察

3.1 一方向単調加力試験の結果

表1および図4に一方向単調加力試験の結果を示す。

3.1.1 無補強試験体

背割り無し柱を使用したCS-1と背割り柱を使用したCS-2との最大荷重を比較すると、CS-1は15.9kNでCS-2は23.9kNであった。CS-2の方が高い最大荷重を示した理由として、両試験体とも荷重の増加に伴い図5 (a)に示すとおり引きボルトの座金が柱にめり込んで荷重が低下したことから、柱のめり込み強さが接合部の強度に影響を及ぼしたものと推測される。表1に示すとおり、CS-1のスギ柱の密度は0.43g/cm³でありCS-2は0.48g/cm³であったことから、接合部強度はCS-2>CS-1を示したと思われる。なお、図5 (b)のとおり、横架材での引きボルト座金は木口面に取り付けられていたためめり込みは小さく、横架材の材質が接合部の強度に及ぼす影響は小さかったものと考えられる。

3.1.2 FRP-Aを使用し全面を接着した試験体

FRP-Aを使用した補強試験体の初期剛性に着目すると、表1に示すとおり各補強試験体はいずれも無補強のCS-1およびCS-2より高い値を示した。FRP-Aの使用量が多かったRS-FRP-A2はRS-FRP-A1よりも高い初期剛性を示し、さらにFRP-Aを並べて接着したRS-FRP-

表1 一方向単調加力試験の結果

試験体 ^{a)}	CS-1	CS-2	RS-FRP-			RS-FRP-			RS-FRP-B	RSS-Cloth-A	CH	RHH-Cloth-A
			A1	A2	A2P	A100	A200	A300				
柱	スギ										ヒノキ	
背割り	無	有	無	有	無			無	有	無		
補強材 ^{b)}	-		FRP-A						FRP-B	Cloth-A	-	Cloth-A
柱密度 (g/cm ³)	0.43	0.48	-	0.43	0.40	-	-	0.37	-	0.45	0.48	0.53
最大荷重 (kN)	15.93	23.86	28.42	16.07	27.05	24.84	27.93	20.68	22.98	25.09	25.53	31.56
降伏変位 (mm)	18.2	15.7	7.9	1.8	1.8	3.3	3.8	3.0	1.5	5.9	8.0	8.1
最大荷重時変位 ^{c)} (mm)	21.8	37.2	42.9	7.7	15.7	14.3	16.5	15.5	14.9	20.8	35.3	28.7
初期剛性 (kN/mm)	0.79	1.09	2.47	4.93	6.63	4.00	3.30	3.49	6.91	1.95	1.95	2.12
塑性率 ^{d)}	-	2.01	4.67	11.08	5.80	3.66	2.87	3.96	10.58	3.41	3.61	3.71
破壊形態 ^{e)}	I	I	II	II	II	III	III	II	II	III	I	IV

注：^{a)}、^{b)}：図1を参照。^{c)}：図2における柱と試験機との間の変位平均値。^{d)}：-：算出不能。^{e)}：I：柱へのボルト座金のめり込み、II：補強材が柱ではなく離れた後柱へのボルト座金のめり込み、III：補強材が引張破壊、IV：補強材の柱へのめり込み、V：補強材の柱へのめり込み+柱への座金めり込み。

A2Pは重ねて接着したRS-FRP-A2よりも高い初期剛性を示した。しかし、図4 (a) に示すとおり各補強試験体では顕著な荷重の低下が発生した。これは、図5 (c) に示すとおり柱に接着したFRP-Aがはく離したためである。この理由として、以下の2点が考えられる。まず、PVA繊維の引張ヤング係数は33.8GPaと高かったことから、加重時にはFRP-Aが大きな荷重を負担したと考えられることである。次に、柱におけるFRP-Aの接着面積は横架材における接着面積よりも小さい上に、柱とFRP-Aとの接着強度は、横架材とFRP-Aとの接着強度よりも低かったと考えられることが挙げられる。すな

わち、荷重方向と木材繊維の走行方向とがなす角度（以下「接着角度」とする）が大きくなると接着強度は低下する⁶⁾。木材繊維の配向方向を部材の長さ方向とした場合、RS-FRP-A・A2・A2Pの各補強試験体の、柱におけるFRP-Aの接着角度は90°であり、横架材では0°であった。これら理由により、柱においてFRP-Aがはく離したものと推測される。

これら補強試験体の最大荷重は、RS-FRP-A1ではFRP-Aが柱からはく離した後に出現し、その値はCS-2の最大荷重よりも大きく、一方、RS-FRP-A2およびRS-FRP-A2PはFRP-Aがはく離する直前の荷重値であり、

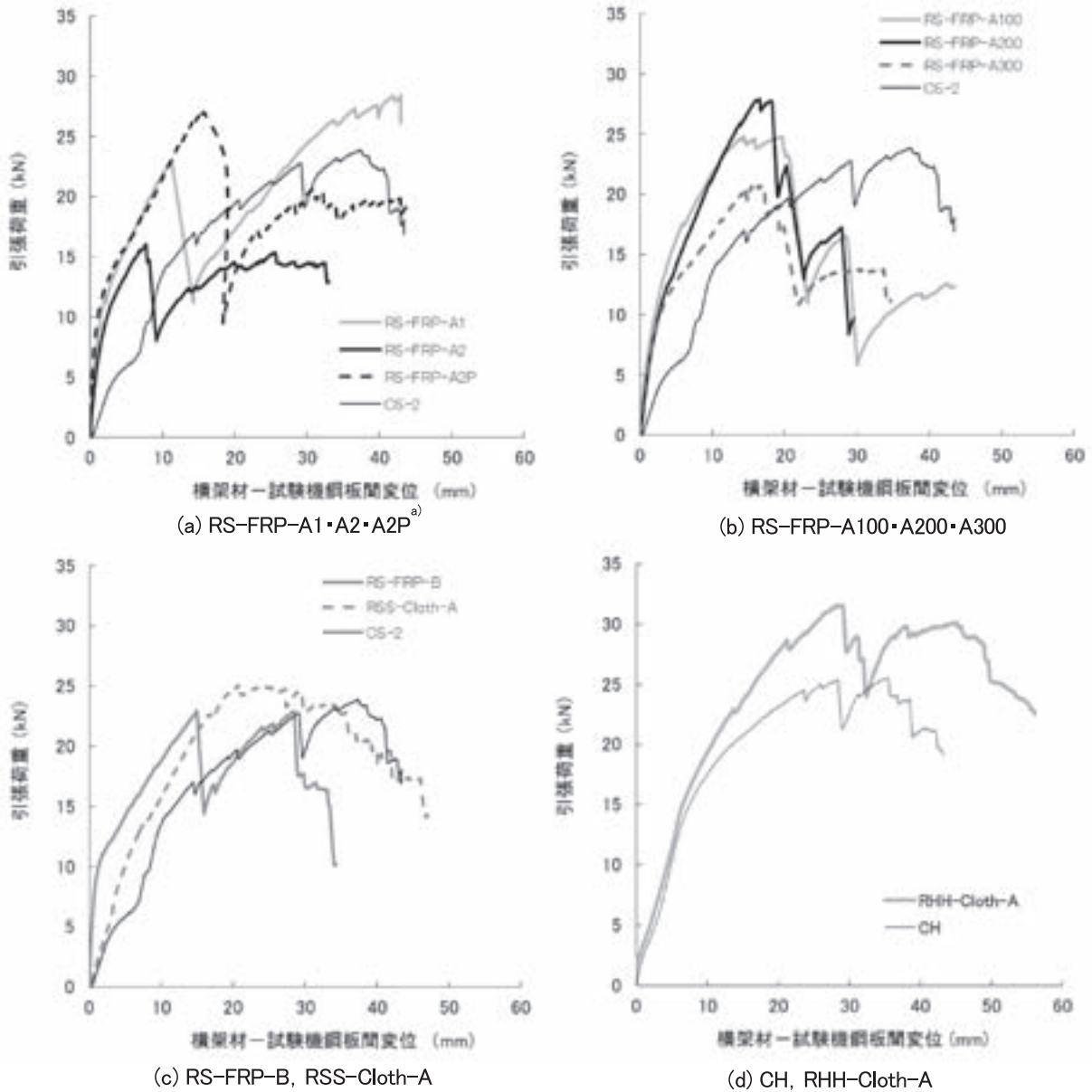


図4 一方単調加力試験の結果

注：a)：図1を参照。

CS-2よりも小さい値であった。これらの相違は、以下の理由に基づくと思われる。すなわち、各補強試験体は、補強材が柱からはく離した後は無補強であるCS-2と同一構成であり、最終的にはCS-2と同様に引きボルト座金が柱へめり込んで荷重が漸減した。したがって、各試験体の柱のめり込み強度が最大荷重を決定したものと推測される。

3.1.2 FRP-Aを使用し一部を非接着とした試験体

補強材にFRP-Aを使用し、長さ方向の中間に非接着部分を設けたRS-FRP-A100・A200・A300は、非接着部分のFRP-Aが伸びることにより接合部の変形に対応することを意図した試験体である。FRP-Aの破壊伸び度は約4%であることから³⁾、例えばRS-FRP-A200では、補強材が引張破壊するまでに非接着部分のFRP-Aは約8mmの伸びを示すものと予測される。引張試験では、いずれの試験体とも図4 (b) に示すとおり柱-試験機

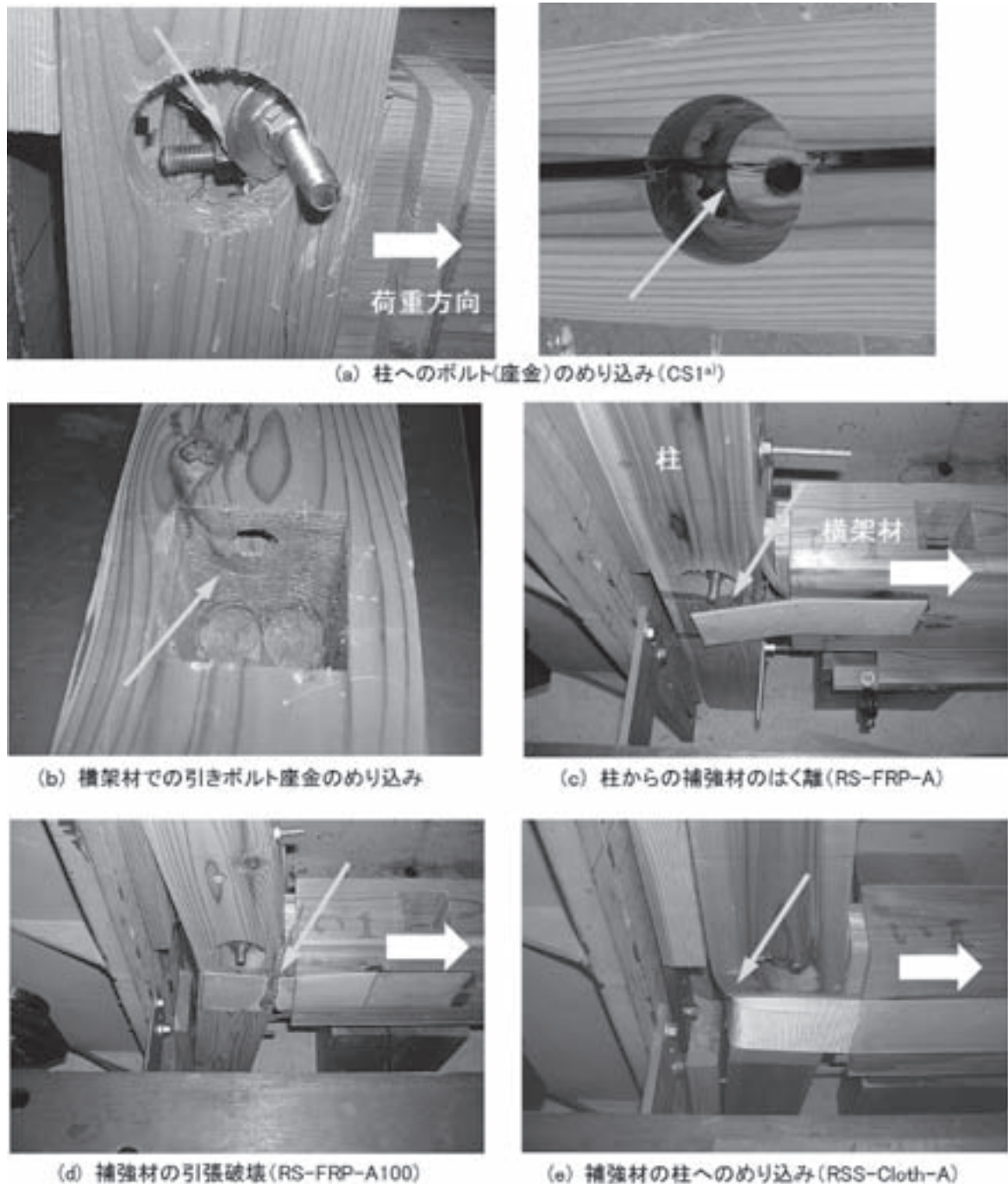


図5 試験体の破壊

注：a)：図1を参照。

鋼板間変位が20mm付近で顕著な荷重低下が発生した。これは、RS-FRP-A100およびRS-FRP-A200では図5 (d) に示すとおりFRP-Aが引張破壊したためであり、RS-FRP-A300は3.1.2と同様にFRP-Aが柱からはく離したためである。各試験体とも、一旦低下した荷重はその後わずかに回復したものの、最大荷重はいずれも顕著に荷重が低下する直前の値であり、それらはRS-FRP-A300を除き無補強のCS-2より高い値であった。このように、FRP-Aの中間に非接着部分を設けた各試験体の結果は、3.1.2で記した補強材の全面を接着した試験体の結果とは異なっていた。

RS-FRP-A100およびRS-FRP-A200でFRP-Aが引張破壊したのは、非接着部分でFRP-Aが破壊伸度に至ったためであると考えられる。これに対し、補強材の全面を接着したRS-FRP-A1等では、FRP-Aの伸びが拘束されていたため引張破壊は発生しなかったものと推測される。RS-FRP-A300でFRP-Aが引張破壊しなかった理由として、非接着部分が長かったため同部分でFRP-Aは破壊伸度に至らなかったためと推測される。

FRP-Aの中間に非接着部分を設けたことによる変化として、顕著な荷重低下が発生した時点の平均変位の相違も挙げられる。すなわち、非接着部分を設けなかった補強試験体の同変位は、RS-FRP-A1で11.3mm、RS-FRP-A2で8.2mm、RS-FRP-A2Pで15.7mmであった。これに対し、中間に非接着部分を設けたRS-FRP-A100では20.8mm、RS-FRP-A200で18.3mm、RS-FRP-A300で19.9mmであった。このように、非接着部分を設けることにより顕著な荷重低下が発生した時点での平均変位は増加した。これは、FRP-Aの非接着部分が伸びたためと推測され、非接着部分を設けたことにより接合部の変形能力は向上したとも受け取れる。しかし、3.1.2に示した補強材の全面を接着した試験体とは異なり、一旦荷重が低下した後に荷重が回復しなかったことに留意する必要がある。この理由として、先に記したとおり顕著な荷重低下が発生した時点での平均変位および荷重の相違が考えられる。つまり、補強材の一部を非接着とした試験体では、補強材の全面を接着した試験体と比較して、接合部の変形および荷重ともより大きい状態で急激な荷重低下が発生した。そのため、この荷重低下に伴う接合部の損傷により、その後に荷重が回復しなかったものと思われる。

以上のとおり、補強材の中間部分を非接着とすると最大荷重は増加した。しかし、接合部の粘り強さはむしろ減少したことから、本手法は有効な補強方法とは言えなかった。

3.1.3 FRP-Bを使用した試験体

柱および梁における補強材の接着面積を増加させたRS-FRP-Bは、図4 (c) に示すとおり、3.1.2で記したRS-FRP-A1等のFRP-Aを全面接着した補強試験体と同様の引張荷重-平均変位曲線を示し、補強材が柱からはく離して一旦荷重が低下した後に回復した。柱における接着面積を増加させたにもかかわらずFRP-Bがはく離した理由として、先に記した接着角度の影響や、あるいはFRP-Bの柱接着層におけるせん断応力の分布が一樣ではなく、より大きなせん断応力が作用した部分でまず破壊が発生し、引き続き全接着層の破壊が進展したこと等が考えられる。

3.1.4 Cloth-Aを使用した試験体

柱部分を非接着としたRSS-Cloth-AおよびRHH-Cloth-Aの最大荷重および初期剛性は、図4 (c) および (d) に示すとおり無補強試験体より大きな値を示した。両補強試験体とも、荷重の増加に伴い図5 (e) に示す補強材の柱へめり込み、および引張力を加えた横架材に取り付けた引きボルト座金の柱へのめり込みが進行した。顕著な荷重の低下は発生せず、RSS-Cloth-Aは最大荷重に達した後に徐々に荷重が低下してCloth-Aが引張破壊した。RHH-Cloth-Aは一旦荷重が低下した後に回復し、その後はCloth-Aおよび引きボルト座金の柱へのめり込みが進行して荷重が低下した。これら試験体では、横架材からのCloth-Aのはく離は発生しなかった。この理由として、横架材におけるCloth-Aの接着角度は0°であったことが挙げられる。つまり、一方の梁に加えられた引張力はCloth-Aを通じてもう一方の梁に引張力として伝わり、接着層に作用したせん断力はいずれも木材繊維の配向方向と一致していた。加えて、両横架材でのCloth-Aの接着面積は同じであったことから、接着層のせん断破壊が発生しなかったものと推測される。

以上に記したとおり、スギ柱を使用した試験体では、柱部分を非接着として2つの梁を補強材で緊結する手法は、接合部の粘り強さを減少させず最大荷重および初期剛性を増加させたことから有効な補強方法と考えられる。

一方、ヒノキ柱を使用した試験体では、RHH-Cloth-Aの柱密度はCHより高かったことから最大荷重の増加は補強効果に起因するか否かは明らかではない。しかし、図3 (d) に示すとおりRHH-Cloth-Aは粘り強い破壊形態を示し、顕著な荷重低下は発生しなかったことから補強効果が期待できるものと考えられる。なお、含水率は15~17%であった。

3.2 一方向繰り返し加力試験の結果

表2に一方向繰り返し加力試験の結果を示す。また、
図6にはRS-FRP-A1-1~3の結果を、図7にはRSS-

表2 一方向繰り返し加力試験の結果

試験体 ^{a)}		CS-1					
番号		1	2	3	Avg.	S.D.	CV
柱密度	(g/cm ³)	0.41	0.43	0.43	0.42	0.02	4
最大荷重	(kN)	24.5	19.45	13.43	19.13	5.54	29
降伏変位	(mm)	8.9	11.4	8.9	9.7		
最大荷重時変位 ^{b)}	(mm)	39.3	47.9	19.6	35.6		
初期剛性	(kN/mm)	1.38	1.00	1.19	1.19	0.19	16
塑性率		3.00	2.90	2.57	2.82	0.22	7.8
破壊形態 ^{c)}		I	I	I			
試験体		CS-2					
番号		1	2	3	Avg.	S.D.	CV
柱密度	(g/cm ³)	0.43	0.42	0.43	0.43	0.01	1
最大荷重	(kN)	18.47	17.54	14.85	16.95	1.88	11
降伏変位	(mm)	9.3	10.1	12.1	10.5		
最大荷重時変位	(mm)	40.4	39.1	30.3	36.6		
初期剛性	(kN/mm)	1.17	1.26	0.80	1.08	0.24	22
塑性率		2.90	3.38	1.95	2.75	0.73	26.5
破壊形態		I	I	I			
試験体		RS-FRP-A1					
番号		1	2	3	Avg.	S.D.	CV
柱密度	(g/cm ³)	0.44	0.42	0.43	0.43	0.01	3
最大荷重	(kN)	22.10	25.53	18.67	22.10	3.43	15.5
降伏変位	(mm)	2.2	2.1	2.3	2.2		
最大荷重時変位	(mm)	12.3	11.6	11.9	11.9		
初期剛性	(kN/mm)	5.19	6.26	4.26	5.24	1.00	19.2
塑性率		3.73	16.81	8.64	9.73	6.60	67.9
破壊形態		*	II	II			
試験体		RSS-Cloth-A					
番号		1	2	3	Avg.	S.D.	CV
柱密度	(g/cm ³)	0.44	0.42	0.44	0.43	0.01	3
最大荷重	(kN)	25.19	21.12	21.51	22.61	2.24	9.9
降伏変位	(mm)	11.3	6.9	9.4	9.2		
最大荷重時変位	(mm)	31.1	28.4	32.1	30.5		
初期剛性	(kN/mm)	1.34	1.52	1.26	1.37	0.13	9.6
塑性率		2.67	5.20	4.35	4.07	1.29	31.6
破壊形態		IV	IV	IV			
試験体		CH					
番号		1	2		Avg.	S.D.	CV
柱密度	(g/cm ³)	0.49	0.54		0.52	0.04	7
最大荷重	(kN)	17.64	30.38		24.01	9.01	37.5
降伏変位	(mm)	7.1	18.9		13.0		
最大荷重時変位	(mm)	22.5	42.5		32.5		
初期剛性	(kN/mm)	1.73	1.45		1.59	0.20	12.5
塑性率		3.23	2.02		2.63	0.85	32.5
破壊形態		I	I				
試験体		RHH-Cloth-A					
番号		1	2		Avg.	S.D.	CV
柱密度	(g/cm ³)	0.55	0.54		0.55	0.01	1
最大荷重	(kN)	37.83	37.98		37.90	0.10	0.3
降伏変位	(mm)	13.6	19.3		16.4		
最大荷重時変位	(mm)	36.9	41.5		39.2		
初期剛性	(kN/mm)	2.44	1.83		2.14	0.43	20.2
塑性率		3.57	3.21		3.39	0.25	7.5
破壊形態		II	III				

注: ^{a)}: 表1を参照。 ^{b)}: *、柱を固定しているボルトが破壊。他は表1を参照。

Cloth-A-1~3の結果を、図8にはRHH-Cloth-A-1~2の結果を示す。なお、図6のRS-FRP-A1~3は背割り無し柱

を使用していたため、比較として図6中に示した無補強試験体はCS-1であり、3試験体中で最大荷重が中間で

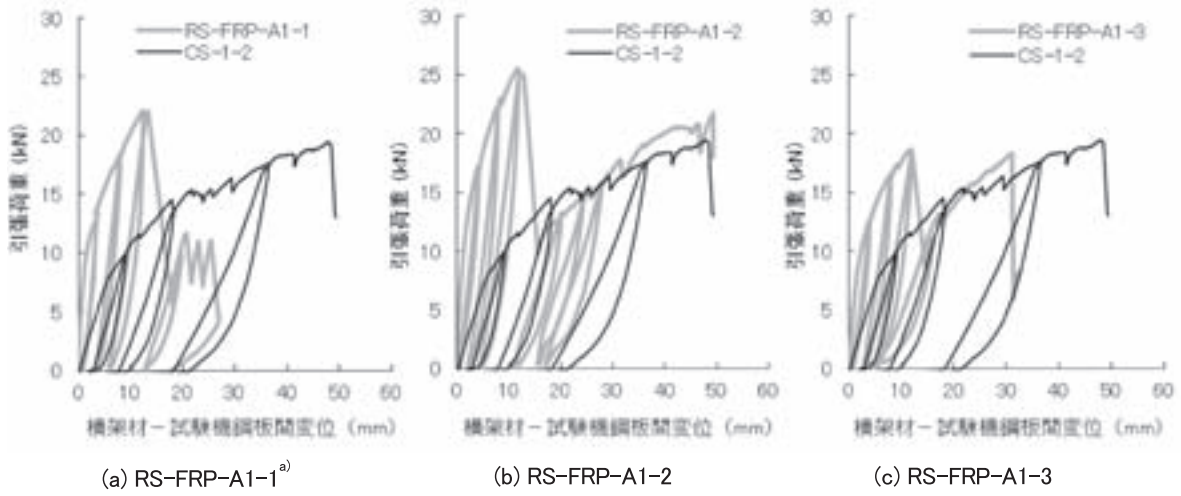


図6 一方繰り返し加力試験の結果 (1) スギ背割り無し柱を使用した試験体

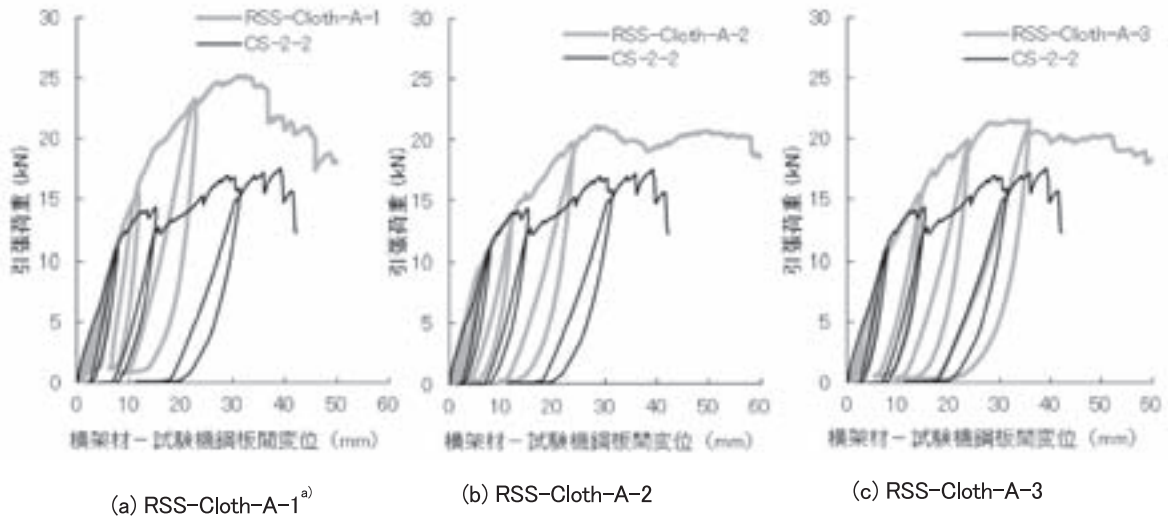


図7 一方繰り返し加力試験の結果 (2) スギ背割り有り柱を使用した試験体

注：図4を参照。

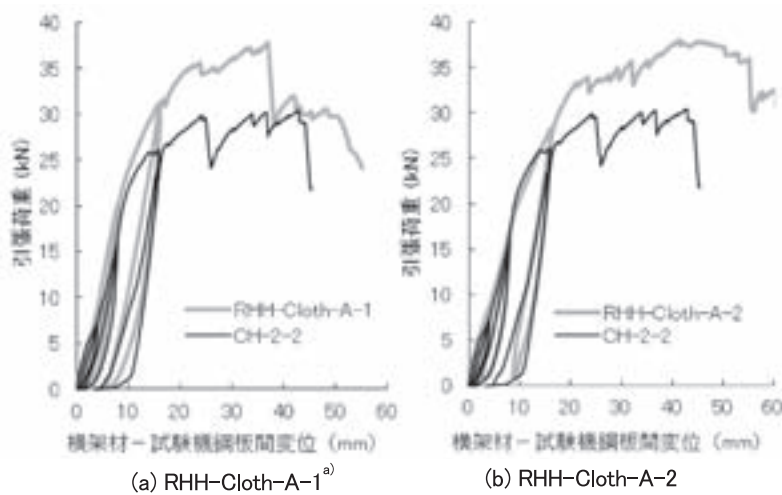


図8 一方繰り返し加力試験の結果 (3) ヒノキ背割り無し柱を使用した試験体

注：図4を参照。

あったCS-1-2である。RSS-Cloth-A1~3には背割り柱を使用したことから、図7に示した無補強試験体はCS-2-1~3中で最大荷重が中間であったCS-2-2とした。また、図8の比較試験体はより高い最大荷重を示したCH-2-2とした。

3.2.1 スギ柱を使用した試験体

表2に示すとおり、背割り柱を使用したCS-1の最大荷重平均値は、背割り無し柱を使用したCS-2よりも低かった。また、CS-1の最大荷重のバラツキは大きく、CS-2の変動係数が11%であったのに対しCS-1は29%であった。CS-1の各試験体の柱密度は近似していたにもかかわらず最大荷重が変動した理由として、座金が柱にめり込む部分の強度、すなわち柱の随周辺のめり込み強度の差等が考えられる。

一方、FRP-Aを全面接着したRS-FRP-A-1~3では、一方向単調加力試験と同様にFRP-Aが柱ではなく離し、図7に示すとおり顕著な荷重低下が発生した。その後の荷重-平均変位曲線は試験体により異なり、RS-FRP-A1-2では荷重が回復してコントロールとほぼ同じ最大荷重および最大平均変位を示した。RS-FRP-A1-3では荷重が回復したものの、平均変位が30mm付近で低下した。しかし、RS-FRP-A1-1では荷重が回復しなかった。これは、柱を試験機に固定していたボルトが破壊したためである。ボルト破壊が発生しなければ荷重は回復したものと推測される。RS-FRP-A1-2とRS-FRP-A1-3との相違は、先に記したとおり柱の随周辺のめり込み強度の差等が考えられる。

以上のとおり、補強材の全面を接着した試験体の一方向繰返し加力試験の結果は、一方向単調加力試験の結果とほぼ同じで、最大荷重および初期剛性は無補強試験体より高い値を示したものの、接合部の粘り強さは向上しなかった。

背割り柱を使用し、柱部分を非接着としたRSS-Cloth-Aの各試験体で得られた結果も、一方向単調加力試験の結果とほぼ同じであった。無補強試験体CS-2の最大荷重は3体とも19kN以下であったのに対し、RSS-Cloth-Aの各試験体は20kN以上を示した。平均値で比較すると、背割り無し柱を使用した無補強試験体CS-1よりも高い値を示した。加えて、最大荷重のバラツキも減少し、最大荷重の変動係数はCS-1およびCS-2よりも小さい値を示した。このことは、補強により柱の材質が接合部強度に及ぼす影響が相対的に低下したことを示唆している。また、初期剛性はCS-2より高く、接合部の粘り強さもCS-2と同等以上であった。

以上の結果、スギ隅柱における柱-横架材接合部を

補強する場合、PVA繊維織布を横架材のみに接着する手法が有効であると考えられる。

3.2.2 ヒノキ柱を使用した試験体

表2および図8に示すとおり、ヒノキ背割り無し柱を使用しCloth-Aで補強したRHH-Cloth-Aの結果は、スギ背割り柱を使用したRSS-Cloth-Aで得られた結果とほぼ同じであった。すなわち、補強により最大荷重は向上し、そのバラツキは減少した。ヒノキ柱を使用した試験体は、無補強および補強とも各2体ずつであったものの、無補強であるCHの2試験体の最大荷重は17.64kNおよび30.38kNと大きく異なったのに対し、補強試験体はいずれも約38kNでありばらつきは小さかった。また、初期剛性も無補強のCHより大きく、接合部の粘り強さは補強により減少することはなかった。

4. 結論

隅柱における柱と横架材との接合部に、高強度繊維を接着して補強する技術を開発した。ポリビニルアルコール繊維を使用した2種類の織布を作製し、それらを繊維強化プラスチックに加工し、織布1種類および繊維強化プラスチック2種類を補強材として用いた。これら補強材を引きボルトで接合した柱-横架材接合部に種々の方法で接着した試験体を作製し、一方向単調加力試験および一方向繰返し加力試験を行った。その結果、柱の材質は柱-横架材接合部の強度に及ぼす影響が大きいことが示唆され、補強材を接着して柱と横架材とを緊結する補強方法は、最大荷重は増加したものの接合部の粘り強さが減少する場合も見られた。これに対し、1枚の織布の両端をそれぞれ柱に取り付く2つの横架材に接着し柱には接着しなかった試験体では、最大荷重および初期剛性が増加して接合部の粘り強さは減少せず、有効な補強方法であることが示唆された。

引用文献

- 1) 今村岳大, 村上 幸, 角 徹三, 中治弘行, 松野 一成: 日本建築学会学術講演梗概集, 119-120 (2005).
- 2) 手塚純一, 野口 徹, 平林 靖, 山下 純: 日本建築学会学術講演梗概集, 385-386 (2004).
- 3) 柳川靖夫, 林 知行: 奈良県森林技術センター研究報告, 38, 1-15 (2009).
- 4) (財) 日本住宅・木材技術センター編: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008年版). 東京, 株式

会社 研恒社, 2008.

5) 軽部正彦: PickPoint324, (2004).

6) 堀岡邦典: 林業試験場研究報告, **89**, 105-150 (1956).

(2012年1月4日受理)

