

論文 コンクリートと集成材木材との直接的なせん断力伝達に関する考察

香取 慶一*1・松下 吉男*2

要旨：柱を RC で、梁を集成材木材で構成する RC-W ハイブリッド工法の成立を意図し、その基礎的研究として、シアキーを用いコンクリートと集成材の間で直接的なせん断力伝達が可能かどうかを実験的に検証した。普通強度コンクリートとヒノキ集成材を用い、木材の力学的性質に大きな影響を与える繊維方向と集成材ラミナ貼り合わせ方向やシアキー形状を試験体変動要因として試験体を製作した。一方向単調載荷による実験の結果、集成材のラミナ繊維方向によって、せん断力伝達能力に大きな違いが生じることがわかった。また、破壊性状もその方向により異なり、集成材に補強を施さないと工法成立が難しいことも判明した。

キーワード：ハイブリッド構造, 鉄筋コンクリート, 集成材, 柱梁接合部, せん断力, シアキー

1. 緒言

国産木材の消費拡大や、建物利用者の嗜好などから、中規模あるいは大規模建築物といった従来コンクリート系あるいは鉄骨系となることの多い建築物の主要構造部に、木材を使用しようという「木質系ハイブリッド構造」という考え方がある。材料の力学的性質や火災などの問題を考慮すると、柱にコンクリート系構造を、また梁に木質構造を使用すると、それぞれの構造材料の特性を生かした建築物が構築でき有益と考えられる。また、例えば建物最下階外柱の水かかりの問題や温泉地建築物で生じやすい木質部材の温泉水や温泉ガスによる腐食変質といった問題から、木質構造の柱を部分的にコンクリート系構造にしたいという設計者の希望を聞くこともある。

以上の背景から、著者らは鉄筋コンクリートと構造用集成材木材（以下、集成材という）による「RC-W ハイブリッド構造」の成立を意図し、必要な基礎研究を計画・実施している。著者らの想定する RC-W ハイブリッド構造は、図-1 および図-2 に示すように、主として柱を鉄筋コンクリート構造、梁を集成材により構築する木質構造である。この種の RC-W ハイブリッド構造については、国土交通省総合技術開発プロジェクト「木質複合建築構造技術の開発」の一環で、柱 RC 部分と梁 W 部分をボルトや異形鉄筋などの棒状金物で連結した柱梁接合部の諸実験が行われている¹⁾。また、たとえば坂田らにより、異形鉄筋とエポキシ接着剤を介してコンクリートと木材を構造的に一体化させる基礎研究も行われている²⁾。しかし、曲げモーメントを棒状金物で伝達することはともかく、せん断力も棒状金物で伝達させようとすると、棒状金物の本（個）数増加をもたらすとともに、棒状金物の間隔の狭小化により集成材部分の割裂など予期せぬ不具合を引き起こす可能性もある。よって、図

-2 右側に示すように、コンクリート部を突出させ集成材部分を凹ませたシアキーによりせん断力を伝達できれば、棒状金物の本（個）数減少に貢献できるはずである。

本研究では、従来から考案されている棒状金物を用いずに、シアキーを用いることでコンクリートと集成材の間で直接的にせん断力伝達が可能なのか、あわせてシアキー周辺の応力状態や破壊性状についての確認や問題点の把握を行う。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体形状図を図-3 に、試験体一覧を表-1 に示す。試験体は、柱を模したコンクリート部分（図-3 の RC 部分）からシアキー部分が突出し、それと同型の切り欠きを有する梁を模した集成材部分（図-3 の W 部分）がコンクリート両側にはめ込まれた形状となっている。試験体の設計にあたり、著者らが調査した限り唯一の既往研究といえる井上らの研究³⁾の試験体を全面的に参考にして試験体の諸元を決定した。

コンクリート部分と集成材部分の間には、その相互を連結する鉄筋などの棒状金物は配筋されておらず、また後述の通り脱型時にコンクリート部分と集成材部分を一旦分離させたことから、せん断力はシアキー部分による直接的な伝達機構と、コンクリートと集成材の界面の摩擦機構による伝達機構の 2 種類のみで伝達され、コンクリートと集成材の界面の化学的付着力は作用しないと考えられる。ただし、実験に際し界面粗さの測定や評価を行っていない関係上、本研究ではシアキー部分のみによるせん断力伝達のみが可能とみなす。あわせて、コンクリート部分に配筋した鉄筋はシアキー部分には配筋されていないことから、それらの鉄筋はシアキー周囲のコンクリートや集成材の力学的挙動には影響を及

*1 東洋大学 理工学部建築学科准教授 博士（工学）（正会員）

*2 東洋大学 理工学部建築学科准教授 博士（工学）

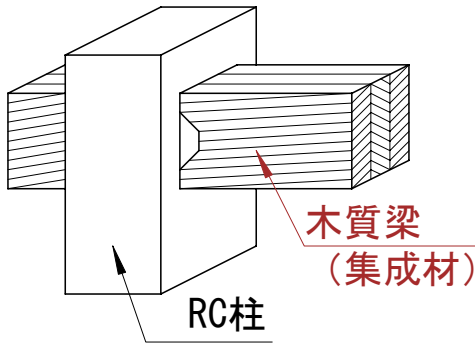


図-1 想定するRC-Wハイブリッド構造

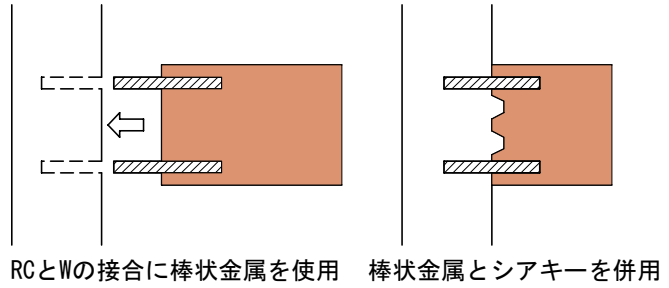


図-2 RC部分とW部分の接合方法

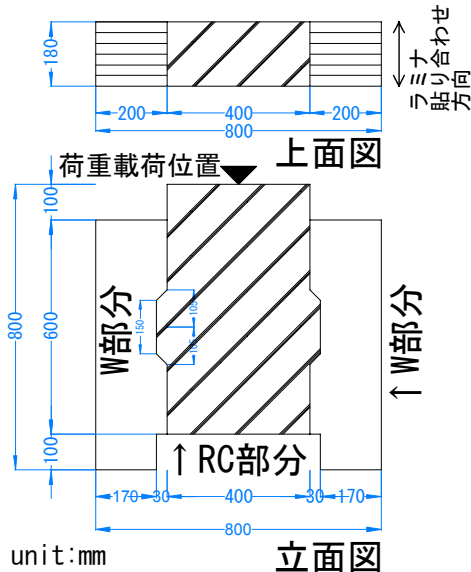


図-3 試験体形状図 (Aa-1-h210t30)

ばさないものと判断し、以下で行なう力学的評価ではその存在を無視する。すなわち、純粋にシアキーのみでコンクリートと集成材間でのせん断力伝達を実現することが、本研究の試験体の位置付けである。実際には、棒状金属の存在を考慮しての研究が必要であるが、本研究はその前段階の研究であることを付記する。

試験体の主な変動要因は、集成材のラミナの繊維方向

とその貼り合わせ方向（以下、貼り合わせ方向という）、シアキー形状である。木材は繊維方向と外力方向の一致、不一致でその力学的性質が大きく異なる。また、集成材を使用する場合も、集成材としての層（ラミナ）の貼り付け方向によって、その力学的性質や実験結果が大きく異なると予想される。よって、図-4に示すようなラミナの繊維方向と貼り付け方向を設定した。貼り合わせ方向が1となる試験体（試験体名に”-1-“の表記を持つものでAa-1-h0t0を除く）については、コンクリートから集成材に伝達されるせん断力とラミナの繊維方向が同じ（縦向き）となり、大きなせん断力伝達能力を有することが期待される。貼り合わせ方向1の集成材のみで梁を製作する場合、原則的に原木の直径が想定する梁スパン以上となる巨木からしかラミナが挽き出せないため、実現性に問題がある。しかし、例えば柱梁接合部付近のみを貼り合わせ方向1の集成材で製作し、梁の他部分を後述の貼り合わせ方向2および3の集成材で製作して両者を接合して梁全体を構成することも一法といえ、実現性が極めて困難とはいえない。貼り合わせ方向が2および3では、ラミナは小径木からも挽き出すことができ、実現性は比較的高い。ただし、伝達されるせん断力とラミナの繊維方向が直交し、せん断力伝達が劣ると予想される。以上のことから、本研究は、まず大きなせん断力伝達が期待できる貼り合わせ方向1（このうち試験体名

表-1 試験体一覧

試験体名	使用コンクリート および 使用ヒノキ集成材	集成材ラミナ 繊維方向および 貼り合わせ方向	シアキー形状				
			底部長さ h(mm)※	高さ t(mm)※	h/t	側面角度 θ (度)	個数
Aa-1-h90t30	コンクリート : A ヒノキ : a	1	90	30	3	45	左右 各1個
Aa-1-h120t30			120		4		
Aa-1-h150t30			150		5		
Aa-1-h180t30			180		6		
Aa-1-h210t30			210		7		
Aa-1-h0t0			(シアキーなし)				
Bb-1-h180t30	コンクリート : B ヒノキ : b	1	180	30	6	45	左右 各1個
Bb-2-h180t30		2					
Bb-3-h180t30		3					

試験体名の構成：（使用材料組み合わせ）-（集成材ラミナ貼り合わせ方向）-h（シアキー底部長さ）-t（シアキー高さ）

集成材ラミナ繊維方向および貼り合わせ方向：図-4の番号に対応 ラミナは厚さ20mmで、ラミナの貼り付けはレゾシノール樹脂系接着剤を使用。 ※hおよびtについては、図-5参照。

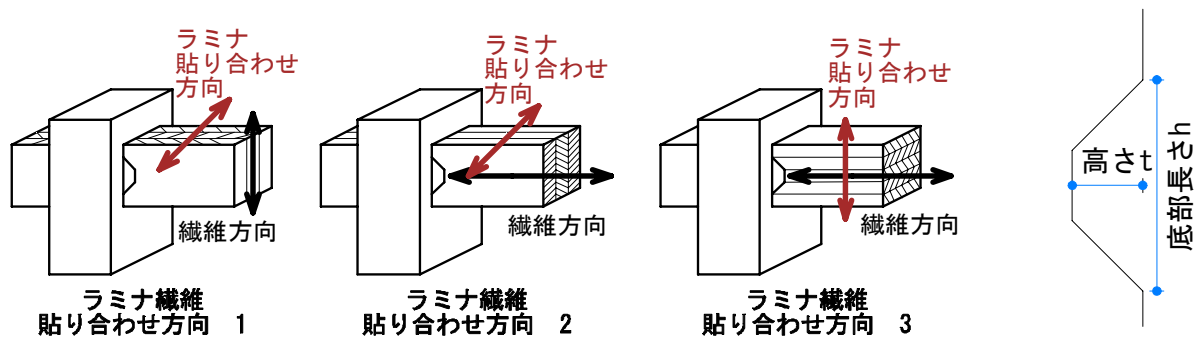


図-4 集成材ラミナの繊維方向と貼り合わせ方向

図-5 シアキー形状

に”Aa”を有するもの)の試験体について実験を先行し、想定するRC-Wハイブリッド構造の実現可能性を確認した後、(Bb-1-h180t30試験体を含めて)貼り合わせ方向2および3の試験体の実験を行い、貼り合わせ方向の違いによる問題点の把握を行なうという流れを採用した。

使用コンクリートは普通強度コンクリート、集成材はヒノキとした。実験の都合上、試験体製作が2期に分かれたため、バッチの異なるコンクリート(AおよびBと呼称)とラミナ(厚さ20mm)となる木材の産地の異なる集成材(aおよびbと呼称)の組み合わせとなった。

井上らは、図-5に示すシアキー底部長さhと高さtの比h/tが10を超える領域での研究を行っているが、本研究ではシアキーの小型化・複数設置を見越してh/tが7以下の範囲を対象とした。また、井上らは直方体シアキーを対象としているが、本研究ではコンクリートの充填不良の防止や将来的にプレキャスト構造への発展の可能性を考慮して、シアキー側面を45°に傾斜させた台形シアキーを対象としている。コンクリート側を突出させた理由は、将来的に配筋されるであろう柱梁接合部の各種鉄筋のかぶり厚さを確保させるためであると同時に

に、集成材の加工の容易と廃棄木材の減少を意図したためである。

使用材料の力学的性質を表-2および表-3に示す。コンクリートは、A、Bともレディミクストコンクリートを使用した。A、Bとも呼び強度24を使用した。Aについては実験の都合上養生期間が40日超と長くなり、載荷時の圧縮強度で42N/mm²程度の強度発現となった。集成材の圧縮試験用試験片は、試験体として使用する集成材と同ロットの集成材から、JIS Z 2101および日本建築学会「建築材料実験用教材」⁴⁾に準拠した40mm×40mm×80mmの試験片を採取して実施した。木材の力学的性質に大きな影響を与える集成材の含水率の測定については、上記2文献を参考に、載荷実験終了後に試験体で使用している集成材のうちコンクリートと接する部分から試験片(40mm×40mm×80mm)を取り出し、電気炉で105℃、24時間乾燥させる方法で算出した。測定結果を表-4に示す。

試験体の製作手順は下記の通りである。まず、型枠製作後、シアキーとしての切り欠きを有する集成材を2型枠内に設置した。その後、コンクリート部分にせん断

表-2 使用コンクリートの力学的性質

使用コンクリート	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	1/3 割線剛性 $E_{1/3}$ ($\times 10^4$ N/mm ²)	割裂強度 σ_t (N/mm ²)
A	41.6~44.2 (42.9)	測定不能	測定不能
B	29.9~32.8 (31.4)	2.52~2.65 (2.59)	2.1~2.3 (2.2)

括弧内は平均値

表-3 使用集成材の力学的性質

使用ヒノキ集成材 (括弧内はラミナとなる ヒノキ原木の産地)	日本農林規格による 構造用集成材の 強度等級※	ラミナ繊維方向および 貼り合わせ方向 (図-4の番号に対応)	集成材圧縮強度 $\sigma_{ }$ (N/mm ²) (括弧内は平均値)	集成材圧縮 ヤング係数 $\sigma_{ }$ (N/mm ²)
a (埼玉県産)	E105-F300	1 (縦向き横貼り)	45.8~49.3 (47.6)★	$1.42 \times 10^4 \sim 2.17 \times 10^4$
b (長野県産)	E95-F270	1 (縦向き横貼り)	46.8~49.0 (47.9)★	$3.22 \times 10^3 \sim 4.48 \times 10^3$
		2 (軸方向向き縦貼り)	8.2~10.6※※★★	$3.0 \times 10^1 \sim 2.7 \times 10^2$
		3 (軸方向向き横貼り)	4.5~5.9※※★★	2.5~50

※：構造用集成材の曲げ剛性と曲げ強度の等級を表し、Eの後の数値は曲げヤング係数を、Fの後の数値は曲げ強さを表わす。

※※：明確な圧縮強度が確認できなかったため、材料試験での最大圧縮応力度を示したものであり、あくまで参考値である。

★：JIS Z 2101の「7. 圧縮試験」のうち「図5 縦圧縮試験体」による結果。★★：同「図6 横圧縮試験体」による結果。

破壊防止用鉄筋や吊り治具用インサートを配筋し、コンクリートを打設した。打設後、防水シートをかぶせ屋外で養生を行った。集成材が過度の含水状態とならないよう、散水や湿布などの養生は一切行なわなかったが、集成材は生コンクリートと直接接しているため、生コンクリートからの吸水が生じる。諸般の都合で、養生終了後の脱型時に一旦コンクリート部分と集成材部分を分離して運搬し、載荷直前に改めてシアキー部分をはめ合わせることで組み立てて、載荷を行った。

2.2 載荷方法

載荷は図-3 および写真-1 に示すとおり、コンクリート部分の頂部に万能試験機を用いて一方向単調載荷の圧縮力を載荷させ、シアキーを介して集成材部分にせん断力が伝達される仕組みとなっている。集成材の底部は、万能試験機のベッド（鉄骨）部分に直置きした。

なお、コンクリート部分と集成材部分をつなぐ棒状金属がないため、わずかな圧縮力載荷でコンクリート部分と集成材部分が再分離し以後の載荷が不可能することが考えられる。このため、試験体外部（シアキー近傍位置）に全ネジ中ボルトあるいはPC鋼棒を配し端部にL型アングル鋼を配することで、分離、目開き防止の策を講じた。試験体名に”Aa”のある6体（Aa名試験体）は、中ボルトM20の全ネジボルト4本（シアキー近傍の試験体表裏各1本と試験体最下部の表裏各1本）を配し、ボルトの軸方向力は測定しなかった。試験体名に”Bb”のある3体（Bb名試験体）は、SBPR1080/12130の直径（呼び名）21mmPC鋼棒2本（シアキー近傍の表裏各1本）を配し、鋼棒の表面にひずみゲージを貼付し、作用する軸方向力を測定した。全ネジボルト、PC鋼棒いずれも、端部のナットを軽く手で締め付ける程度としたので、載荷前のボルトや鋼棒の軸方向力はないとみなす。L型アングル鋼とそれに接する集成材表面の間には、テフロンシートなどの摩擦低減材は配さなかった。

2-3 測定方法

コンクリート部分と集成材変位は上記の目開きが生じないものとして、コンクリート部分と集成材部分の間の相対すべり δ （左右両方）を変位計にて測定した。また、シアキー中央部に3方向ひずみゲージを貼付し、シアキー内部の主ひずみの測定を行なった（写真-1）。

3. 実験結果

3.1 強度・破壊性状

載荷実験結果を表-4 および図-6 に、破壊性状の代表例を写真-2 から写真-5 に示す。

(1) Aa名試験体

Aa名試験体のうち、Aa-1-h0t0を除く6体について、最大荷重と実験結果を見る。相対すべり δ は左右で同等の値とはならなかったため、左右のシアキーが同じ応力状態ではなかったといえるが、5体いずれも250kN以上の最大荷重を記録した。単純平均でシアキー1個当たり125kN以上のせん断力伝達能力があったといえる。試験体の破壊性状は、シアキー形状と貼り合わせ方向によりほぼ区分できる。すなわち、h/tが3および4では、シアキー底部のコンクリートせん断破壊（写真-2）となった。h/tが5では、シアキー側面のコンクリートあるいは集成材が圧壊し、h/tは6および7では、シアキー外の集成材余長部のせん断破壊（写真-3）となった。Aa-1-h180t30に比べてAa-1-h210t30の最大荷重が小さいが、木材の力学的性質に大きな影響を与える含水率に大きな違いはなく、集成材余長部における微細な木材の欠点などの影響が両者の荷重差の原因と考えられる。

シアキー形状とその破壊性状との関係は、コンクリートシアキー単独での著者らの研究⁵⁾と合致する結果になった。すなわち、Bb-1-h180t30を含めて、貼り合わせ方向が1の場合、h/tが4以下ではコンクリート側でのせん断破壊、h/tが6以上では集成材側のせん断破壊となり、h/tが5ではコンクリートと集成材の圧縮破壊が混在する

表-4 載荷実験結果

試験体名	最大荷重 P _{max} (kN)	P _{max} 時相対すべり δ P _{max} (mm)			最終破壊状況		載荷終了時 集成材含水率(%)
		右側	左側	平均	右シアキー	左シアキー	
Aa-1-h90t30	239	2.14	3.61	2.87	CS	CS	11.0~13.5
Aa-1-h120t30	259	1.41	1.46	1.43	CS	CS	
Aa-1-h150t30	318	13.37	13.26	13.31	WC	WC+CC	
Aa-1-h180t30	355	測定不能	2.28	2.28	WS	WS	
Aa-1-h210t30	271	1.43	0.49	0.96	WS	WS	
Aa-1-h0t0	29	0.19	1.02	0.60	SP	SP	
Bb-1-h180t30	391	2.58	2.33	2.46	WS	WS	17.5
Bb-2-h180t30	192	30.88	測定不能	30.88	WC+WO	WC+WO	20.0
Bb-3-h180t30	138	18.57	19.80	19.19	WC+WO	WC+WO	39.0

最終破壊状況凡例 CS：シアキーコンクリート底部せん断破壊（写真-2） CC：シアキーコンクリート側面圧壊 WS：シアキー外集成材余長部せん断破壊（写真-3） WC：シアキー集成材側面圧壊（写真-5） WO：集成材ラミナ貼り合わせ部分直近あるいは年輪間での分離、割裂（開口ひび割れ 写真-4 および写真-5）。ただし、貼り合わせ部分自体の分離はなかった。 SP：コンクリート集成材境界部分分離

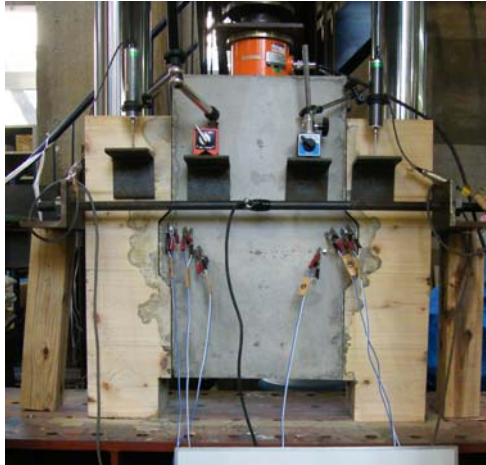


写真-1 載荷実験写真 (Bb-2-h180t30 載荷前)

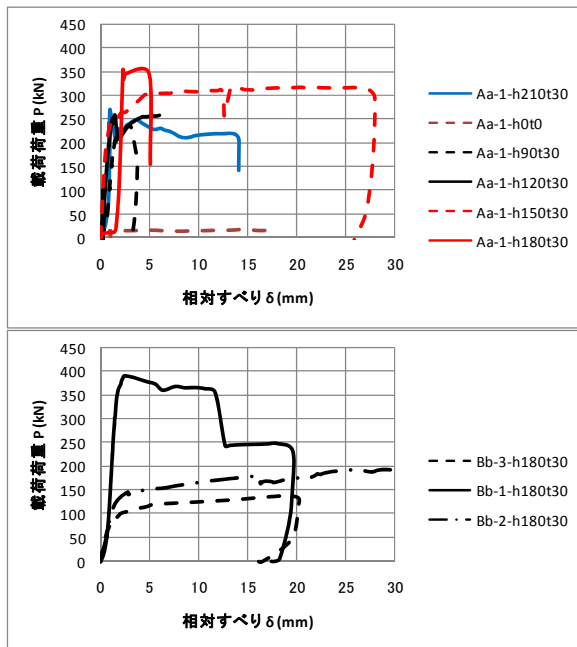


図-6 載荷実験結果 (載荷荷重-相対すべり関係)

条件であることがわかった。

(2) Bb 名試験体

貼り合わせ方向が 2 および 3 に関連して、Bb 名試験体で比較してみると、Bb-1-h180t30 に比べて他の試験体の最大耐力が半分以下に低下しており、予想通り方向 2 および 3 ではせん断力伝達能力が劣る結果となった。試験体の破壊性状は、シアキーのコンクリート側の破壊は発生せず、集成材側の圧壊が発生した。また、載荷のかなり初期の段階から、シアキーに近い集成材側ラミナ貼り合わせ部分直近あるいは繊維と並行な方向の年輪間が分離、割裂して開く破壊性状 (開口ひび割れ 写真-4 および写真-5) が確認された。なお、貼り合わせ部分自体の分離は起きなかった。せん断力伝達によって、ラミナ貼り合わせ部分直近あるいは年輪間に引張応力 (繊維に対しては横方向の応力) が発生し、その応力に繊維が耐

えきれず開口ひび割れが発生したのと考えられる。この開口ひび割れは、集成材のシアキー側だけでなく外面側でも発生し、最終的にはこの両者とも集成材部分を貫通し、集成材が複数に分離した。シアキー側の開口ひび割れは、伝達されるせん断力によるが、外面側のひび割れは、シアキー側の開口ひび割れにより集成材内部のてこ反力が外面側に伝わり発生したのと考えられる。分離、目開き防止用の鋼棒の位置が、諸般の事情からシアキー高さとも一致させられなかったことも外面側開口ひび割れ発生理由の一つと考えられる。いずれにせよ、シアキー側では載荷初期からの開口ひび割れ発生が避けられないと考えられる。

この RC-W ハイブリッド工法を図-2 右側のように実現させる場合、開口ひび割れは棒状金物に沿って発生することも考えられ、棒状金物と集成材の付着の阻害を引き起こし、曲げモーメント伝達能力を大きく低下させる原因ともなり得る。よって、開口ひび割れ防止のために後述のように集成材に補強などの対策が必要と考えられる。材料試験でこの種の開口ひび割れ強度を算出することは極めて困難と考えられ、現時点で詳細な検討ができないので、補強により開口ひび割れを発生させないという設計方針をとることが有効であろう。

なお、Bb-3-h180t30 試験体は、集成材含水率が 39.0% と大きかった。他の試験体と同じ養生方法を講じたにもかかわらず、この試験体は含水率が突出している。この理由は不明である。含水率が約 30% (繊維飽和点) 以下の範囲では、一般に木材は含水率が大きくなるほど強度が低下する傾向を示す⁶⁾が、この試験体の実験結果が含水率の大きさによるものかは、現時点では判断できない。

分離、目開き防止用 PC 鋼棒に作用する軸方向引張力は、最大でも Bb-1-h180t30 試験体で 3.2kN (最大荷重時)、11kN (最大荷重後の荷重低下域) であり、さほど大きな値とはいえないと判断される。

3.2 主ひずみによるシアキー周辺の応力状態

最大荷重時のシアキー内部の主ひずみの状態を図-7 に示す。”Aa-1-”と表記される試験体では、主ひずみの角度とシアキー角度がほぼ一致しており、また圧縮 (最少) 主ひずみの値が十分に大きくなっている。このことから、コンクリートと集成材の間で良好なせん断力伝達が行なわれていることが伺える。

一方、Bb 名試験体では、貼り合わせ方向が 2 および 3 の試験体で、特に圧縮主ひずみの値が際立って小さくなっている。シアキーが十分なせん断力を伝達する以前に、集成材部分での圧壊や開口ひび割れが発生することで、圧縮主ひずみの値が小さくなったものと推定できる。これらの点からも、貼り合わせ方向が 2 および 3 となる集成材の使い方そのままでは、せん断力伝達能力に問題



写真-2 破壊性状
(Aa-1-h90t30 右側シアキー底部せん断破壊)



写真-3 破壊性状
(Aa-1-h210t30 左側シアキー外集成材余長部せん断破壊)

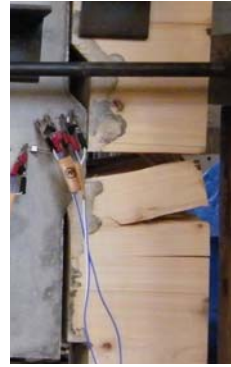


写真-4 破壊性状
(Bb-2-h180t30 右側集成材年輪間開口ひび割れ)



写真-5 破壊性状
(Bb-3-h180t30 左側シアキー集成材側面圧壊および集成材ラミナ貼り合わせ部分直近の分離ひび割れ)

があると判断でき、何らかの策を講じる必要がある。たとえば、集成材外部から金属や連続繊維シートなどを巻きつける方法や、集成材内部に縦方向の棒状金属を配する方法などが考えられる。

4. まとめ

普通強度コンクリートとヒノキ集成材という限られた組み合わせであったが、コンクリートと集成材の間で直接的なせん断力伝達が可能なことがわかった。また、

- (1) 貼り合わせ方向が1の試験体は、比較的大きなせん断力伝達が可能である。貼り合わせ方向が1の試験体では、シアキー形状 (h/t の値) により、試験体の破壊性状もほぼ関連付けられる。
- (2) 貼り合わせ方向が2および3の試験体では、それが1の試験体に比べて、せん断力伝達能力が劣った。
- (3) 貼り合わせ方向が2および3の試験体では、ラミナ貼り合わせ部分直近あるいは年輪間が開く開口ひび割れが発生すること。このひび割れ防止のため、何らかの補強が必要と思われる。

との知見が得られた。今後は、ヒノキ以外の集成材や高コンクリートを用いた場合での諸性状の解明、開口ひび割れに対する補強方法の考察を予定している。

謝辞 大分大学工学部 井上正文教授から、貴重な研究成果のご提供とご助言をいただきました。協同組合フォレスト西川 (埼玉県飯能市)、齋藤木材工業株式会社 (長野県長和町)、東洋大学工学部 松野浩一教授、長澤 悟教授、工藤和美教授、馬場 勲氏、東京工業大学建築物理研究センター 林 静雄教授、篠原保二准教授、坂田弘安准教授からもご指導ご協力をいただきました。本研究は、東洋大学木と建築で創造する共生社会研究センター (文科省私立大学学術研究高度化推進事業 (オープンリサーチセンター事業)) の研究の一環です。また、研究の一部に、平成 19 年度東洋大学井上円了記念研究

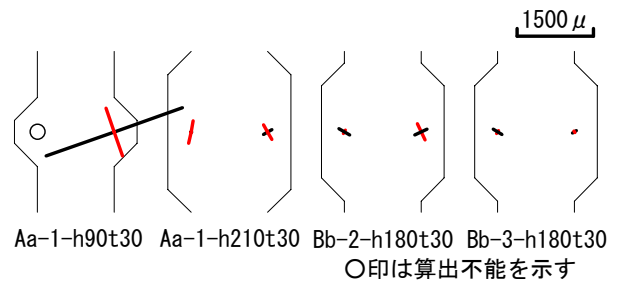


図-7 最大荷重時でのシアキー内部主ひずみ
(黒: 最大 (引張) 主ひずみ
赤: 最小 (圧縮) 主ひずみ)

助成金の援助を受けました。記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術開発総合研究所ほか: 国土交通省総合技術開発プロジェクト「木質複合建築構造技術の開発」平成 14 年度報告書, 構造分科会, 2003.3
- 2) 坂口裕美, 坂田弘安, 香取慶一 他: 集成材と異形鉄筋のエポキシ接着における付着性能実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.301-302, 2005.9
- 3) 早川亜季, 井上正文 他: 木質複合建築構造技術の開発 - 鉄筋コンクリート-木材接合部のせん断性能 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.249-250, 2003.9
- 4) 日本建築学会: 建築材料実験用教材, 2000.3
- 5) 香取慶一, 林 静雄 他: 形状の違いと複数個配置されることがプレキャスト接合部のシアキーのせん断挙動におよぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, No.518, pp.71-78, 1999.4
- 6) 日本木材学会: 木質の物理, 文永堂出版, pp.171-172, 2007.6
- 7) 香取慶一, 松下吉男, 松野浩一: コンクリート-木質間の直接的せん断力伝達機構に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.111-112, 2008.9