

論文 国産スギ集成材を用いた EWECS 柱梁接合部の静的加力実験

田名部 智^{*1}・新藤 健太^{*2}・松井 智哉^{*3}・倉本 洋^{*4}

要旨：EWECS (Engineering Wood Encased Concrete-Steel) 部材は、集成材、鉄骨およびコンクリートを組み合わせた新しい木質系ハイブリッド構造である。本研究では、外殻の集成材に国産カラマツおよび国産スギを用いた EWECS 柱梁接合部の構造性能を把握することを目的として、破壊モードを実験変数とした十字形接合部試験体を用いて静的加力実験を行い、当該接合部の破壊性状や復元力特性について検討した。その結果、低強度のスギ材を集成材に用いてもカラマツとほぼ同様の挙動を示すことが確認された。

キーワード：EWECS, 静的加力実験, せん断余裕度, 復元力特性, 終局耐力評価

1. はじめに

EWECS 構造システムは、集成材を用いたコンクリート-鋼合成柱 (EWECS 柱) と集成材で鉄骨を被覆した梁 (EWES 梁) から構成されている。この構造システムは不燃材料であるコンクリートや鉄骨を使用することにより耐火性を向上させ、建築基準法で制限されている4層以上の木造建築物に適用することができる。さらに、集成材を柱の型枠として利用することで施工コストを抑制でき、これらの材料の複合的な挙動によって構造性能の向上を図ることができる。筆者らはこれまでに、EWECS 柱および EWECS 柱梁接合部の耐震性能を把握するための幅広い研究を行ってきた。その結果、耐力劣化が少なく安定した履歴性状を示すことを確認している^{1)~5)}。

しかしながら、これまでの実験では外殻の集成材に比較的剛性の高い国産のカラマツのみを用いており、他の木質材料を用いた実験は行われていない。また、近年では国産スギの有効活用が重要視されており、その需要拡大が望まれている。

そこで本研究では、外殻の集成材に低強度の国産スギを用いた EWECS 柱梁接合部の構造性能を把握することを目的として、破壊モードを実験変数とした十字形接合部試験体を用いて静的加力実験を行い、当該接合部の破壊性状や復元力特性について検討する。なお、本論では比較対象として集成材にカラマツを用いた試験体⁴⁾の実験結果とあわせて示す。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1 に試験体概要を、表-1 に実験計画を示す。試験体は階高約 3m およびスパン約 5.5m の 6 層程度の純フレーム建築物の低層部柱梁接合部を想定し、その約 1/2.4

縮尺モデルとしている。部材反曲点を模擬するために柱上下端部および梁端部にピン支承を取り付け、図-2 に示す荷重装置に設置されている。

試験体の柱断面は 400mm×400mm であり、外殻集成材の厚さは 45mm である。上下に取り付けたピン支承間の距離を 1,300mm とした。梁は断面が 300mm×400mm であり、左右端に取り付けたピン支承間の距離を 2,250mm とした。内蔵鉄骨は柱通し型とし、梁は柱に溶接して製作した。集成

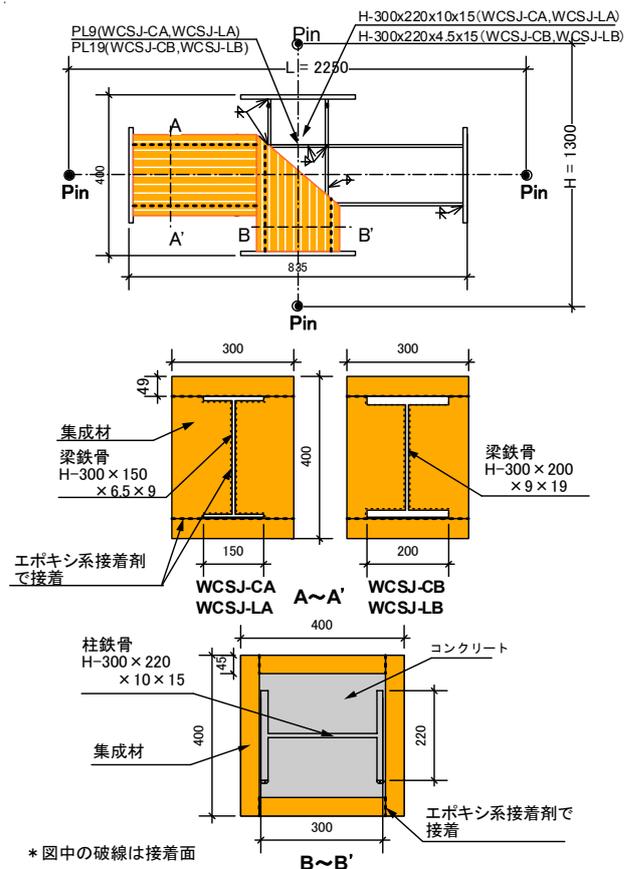


図-1 試験体概要

*1 矢作建設工業株式会社 施工統括本部 建築施工部 (正会員)

*2 (独) 森林総合研究所 複合材料研究領域積層接着研究室 博士 (工学) (正会員)

*2 豊橋技術科学大学 建設工学系助教 博士 (工学) (正会員)

*3 大阪大学 大学院工学研究科地球総合工学専攻教授 博士 (工学) (正会員)

材は、レゾルシノール系樹脂接着剤を用いて積層接着したのち、図-1の形状に加工し、柱部材と梁部材ともエポキシ樹脂接着剤を用いて2次接着を行った。また集成材の積層方向は、柱部材では幅方向、梁部材では梁成方向にそれぞれ配置した。なお、柱集成材と梁集成材の接触面は接着していない。

試験体は4体であり、実験変数には破壊モードおよび集成材の種類を選択した。破壊モードは梁曲げ破壊先行型(試験体 WCSJ-LA および WCSJ-CA)と接合部せん断破壊先行型(試験体 WCSJ-LB および WCSJ-CB)の2種類とした。そのため、全ての試験体の柱内蔵鉄骨を同一としているが、梁曲げ破壊先行型の試験体では梁内蔵鉄

骨に H-300×150×6.5×9 を用い、接合部せん断破壊先行型の試験体では梁内蔵鉄骨に H-300×200×9×19 を用いて、かつパネルゾーンのウェブ厚を 4.5mm に変更した。集成材種類は、国産カラマツ(Larch: 試験体 WCSJ-LA および WCSJ-LB)と国産スギ(Cedar: 試験体 WCSJ-CA および WCSJ-CB)の2種類とした。

2.2 使用材料

表-2 に鉄骨の材料試験結果を、表-3 に集成材の圧縮強度性能を、および表-4 にコンクリートの配合表をそれぞれ示す。スギ集成材には、構造用集成材としては利用しにくい低強度のラミナ(集成材の日本農林規格(JAS)に定める L30-40 相当)を使用した。表-3 に示すように、ヤング係数、縦圧縮強度ともにカラマツより低い結果となっている。

2.3 各部材の終局耐力計算

表-5 に柱、梁およびパネルゾーンの各終局耐力計算値を示す。柱および梁の終局曲げ耐力は一般化累加強度理論⁶⁾により計算した。ここで、柱および梁の集成材は圧縮力のみ負担し、引張力を負担しないと仮定して求めている。パネルゾーンの終局せん断耐力は日本建築学会 SRC 規準⁷⁾に基づいて式(1)~(3)より求めている。ここで、集成材は考慮していない。なお、同表において梁およびパネルゾーンの耐力は、柱せん断力換算値で示している。

$$cQ_{pcal} = \frac{j_b \cdot l}{(l - j_c) \cdot h - j_b \cdot l} \cdot Q_{pcal} \quad (1)$$

$$Q_{pcal} = j F_s \cdot j_c \cdot A_e + \frac{1.2 \cdot s_w \sigma_y \cdot A}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

$$j F_s = \min \left(0.12 F_c, 1.8 + \frac{3.6 F_c}{100} \right) \quad (3)$$

ここで、 Q_{pcal} : 接合部パネルのせん断強度計算値、 cQ_{pcal} : Q_{pcal} の柱せん断力換算値、 F_c : コンクリートの圧縮強度、 $j F_s$: コンクリートのせん断強度、 j_c : 接合部の形状により決まる係数(十字形は3)、 A_e : 接合部コンクリートの有効面積(310mm×310mm)、 $s_w \sigma_y$: 接合部鉄骨ウェブの降伏応力、 $s_w A$: 接合部鉄骨ウェブの断面積、

表-1 実験計画

| 試験体 | | WCSJ-LA | WCSJ-CA | WCSJ-LB | WCSJ-CB |
|--------------------------------|------------|-----------------|---------|----------------|---------|
| 破壊形式 | | 梁曲げ | | 接合部せん断 | |
| 集成材種類 | | カラマツ | スギ | カラマツ | スギ |
| 軸力: N(kN) | | 615 | 976 | 615 | 976 |
| 軸力比: N/(bc·Dc·σ _B) | | 0.3 | | | |
| 柱 | 内蔵鉄骨(mm) | H-300×220×10×15 | | | |
| | 柱高さ:h(mm) | 1300 | | | |
| | 断面:B×D(mm) | 400×400 | | | |
| 梁 | 内蔵鉄骨(mm) | H-300×150×6.5×9 | | H-300×200×9×19 | |
| | 梁長:l(mm) | 2250 | | | |
| | 断面:B×D(mm) | 300×400 | | | |
| パネル | ウェブ(mm) | 10 | | 4.5 | |

表-2 内蔵鉄骨試験結果

| 内蔵鉄骨 | 試験体 | 降伏応力度 (MPa) | 引張強度 (MPa) | 備考 |
|-----------------|---------|-------------|------------|-------|
| H-300×220×10×15 | WCSJ-LA | 284.0 | 450.5 | 柱フランジ |
| | WCSJ-LB | 295.5 | 454.9 | 柱ウェブ |
| | WCSJ-CA | 280.2 | 474.3 | 柱フランジ |
| | WCSJ-CB | 314.9 | 487.9 | 柱ウェブ |
| H-300×150×6.5×9 | WCSJ-LA | 320.5 | 458.0 | 梁フランジ |
| | | 407.7 | 510.4 | 梁ウェブ |
| | WCSJ-CA | 295.2 | 462.8 | 梁フランジ |
| | | 348.6 | 486.8 | 梁ウェブ |
| H-300×200×9×19 | WCSJ-LB | 251.6 | 440.8 | 梁フランジ |
| | | 293.3 | 407.1 | 梁ウェブ |
| | WCSJ-CB | 300.1 | 446.0 | 梁フランジ |
| | | 297.4 | 459.7 | 梁ウェブ |
| PL4.5 | WCSJ-LB | 256.7 | 337.5 | 接合部 |
| | WCSJ-CB | 363.9 | 454.3 | ウェブ |

表-3 集成材の圧縮強度性能

| 集成材種類 | 試験体 | 含水率 (%) | 縦強度 (MPa) | 横強度 (MPa) | 動的ヤング係数(GPa) |
|-------|---------|---------|-----------|-----------|--------------|
| カラマツ | WCSJ-LA | 12.0 | 45.0 | 5.0 | 11.5 |
| | WCSJ-LB | | | | |
| スギ | WCSJ-CA | 11.8 | 24.7 | 4.5 | 3.97 |
| | WCSJ-CB | | | | |

表-5 計算耐力(層せん断力換算値)

| 試験体 | 柱曲げ耐力(kN) | 梁曲げ耐力(kN) | 接合部せん断耐力(kN) | 接合部せん断余裕度 |
|---------|-----------|-----------|--------------|-----------|
| WCSJ-LA | 1100.0 | 474.1 | 461.5 | 0.97 |
| WCSJ-CA | 1190.0 | 408.9 | 522.3 | 1.28 |
| WCSJ-LB | 1100.0 | 723.1 | 328.7 | 0.45 |
| WCSJ-CB | 1190.0 | 801.8 | 406.8 | 0.51 |

表-4 コンクリート配合表

| 試験体 | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | スランプ (cm) | 単位体積重量(kg/m ³) | | | | | 圧縮強度 fc(MPa) | ヤング係数 Ec(GPa) |
|---------|------------|----------|-----------|----------------------------|---------|--------|--------|--------|--------------|---------------|
| | | | | 水(W) | セメント(C) | 細骨材(S) | 粗骨材(G) | 空気量(A) | | |
| WCSJ-LA | 57 | 48 | 17 | 181 | 318 | 856 | 989 | 3.2 | 22.8 | 20.3 |
| WCSJ-LB | | | | | | | | | 24.3 | |
| WCSJ-CA | 57 | 49 | 18 | 181 | 318 | 872 | 972 | 4.2 | 36.1 | 28.1 |
| WCSJ-CB | | | | | | | | | 38.0 | |

l : 左右梁の反曲点間距離, h : 上下柱の反曲点間距離,
 j_b : 梁の有効せい (梁鉄骨フランジ重心間距離), j_c : 柱
の有効せい (柱鉄骨フランジ重心間距離) である。

また, 接合部せん断余裕度は梁終局曲げ耐力計算値と
接合部終局せん断耐力計算値 (いずれも柱層せん断力換
算値) の比で表している。

各試験体の接合部せん断余裕度は, 試験体WCSJ-LAで
は0.97, 試験体WCSJ-CAでは1.28, 試験体WCSJ-LBでは
0.45, 試験体WCSJ-CBでは0.51である。カラマツを用いた
試験体より, スギを用いた試験体のほうが接合部せん
断余裕度は高くなる結果となった。この主たる理由として,
コンクリート強度や接合部ウェブの降伏強度が, カ
ラマツを用いた試験体よりスギを用いた試験体のほう
が高いことが挙げられる。

2.4 荷重方法

実験は図-2 に示す荷重装置を用いて行った。荷重軸
力は軸力比 ($N/b_c D_c \sigma_B$: ここで, b_c および D_c は柱コン
クリート部の幅およびせいである) を約 0.3 とし, 試験
体 WCSJ-LA および WCSJ-LB については 615kN, 試験体
WCSJ-CA および WCSJ-CB については 976kN の一定軸力
下で, 静的漸増繰り返し水平力荷重を行った。

水平力荷重は変形制御とし, 柱上下端に取り付けたピ
ン支承間の相対水平変位 δ と上下ピン支承間距離 h で与
えられる相対部材角 $R (= \delta/h)$ で, 0.005, 0.01, 0.015,
0.02, 0.03rad. および 0.04rad. を 2 サイクルずつ繰り返
した後 0.05rad. まで荷重を行い, 実験を終了した。

3. 実験結果

3.1 集成材損傷状況

各試験体の最大耐力時における破壊状況を写真-1に,
最終破壊状況を写真-2にそれぞれ示す。集成材の割れを
破線で示す。

梁曲げ破壊先行型でカラマツ集成材を用いた試験体
WCSJ-LAでは, $R=0.005rad.$ で柱正面集成材に微小な亀裂
が確認された。その後 $R=0.02rad.$ で柱側面集成材に亀裂
が確認され, 変形角の進行とともに亀裂が拡大した。

同じく梁曲げ破壊先行型でスギ集成材を用いた試験
体WCSJ-CAでは, $R=0.02rad.$ で柱側面集成材に亀裂が確
認され, 変位振幅の増加に伴い割れが拡大した。最大耐
力を記録した $R=0.04rad.$ 時に, 柱正面と側面で集成材に
亀裂が発生し, 変位振幅の増加に伴い柱全体に伸展した。

一方, 接合部せん断破壊先行型でカラマツ集成材を用
いた試験体WCSJ-LBでは, $R=0.005rad.$ で柱正面集成材に
亀裂が確認され, 変位振幅の増加に伴って, 柱に沿って
拡大した。その後, $R=0.01rad.$ で柱側面集成材に微小な
亀裂が多数確認され, 変位振幅の増大に伴ってそれらの
亀裂が拡大した。

接合部せん断破壊先行型でスギ集成材を用いた試験
体WCSJ-CBでは, $R=0.01rad.$ で梁端部に接着部に沿った
亀裂が発生した。その後 $R=0.015rad.$ で柱正面および側面
集成材で割れが確認され, 変形角の進行とともに割れが
柱全体に拡大した。最終変形角である $R=0.05rad.$ 時では,
柱側面の亀裂は25mm以上となった。

全ての試験体において, 梁集成材の損傷は軽微であっ

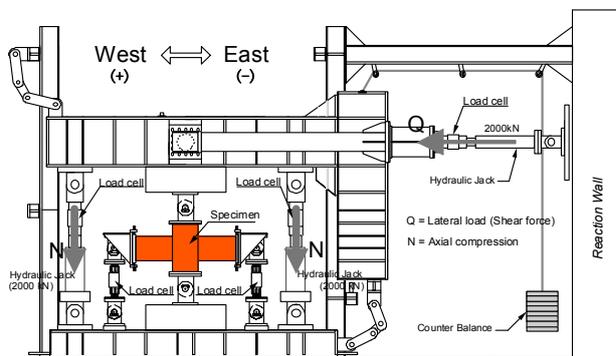


図-2 荷重装置



WCSJ-LA($R=0.03rad$)

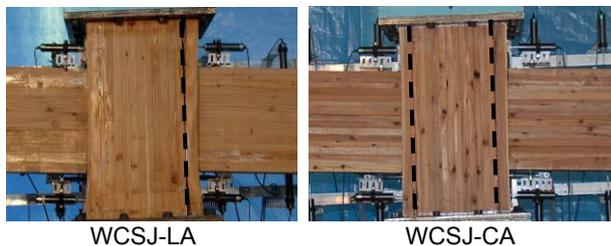
WCSJ-CA($R=0.04rad$)



WCSJ-LB($R=0.015rad$)

WCSJ-CB($R=0.015rad$)

写真-1 破壊性状 (最大耐力時)



WCSJ-LA

WCSJ-CA



WCSJ-LB

WCSJ-CB

写真-2 最終破壊状況

た。集成材にカラマツ材を用いた試験体は、亀裂は柱集成材の接着部分に集中しているのに対し、集成材にスギ材を用いた試験体の亀裂は集成材接着部分に加え、ラミナ間でも多く発生する傾向が確認された。

3.2 荷重－変形特性

実験結果一覧を表-6に、荷重－変形関係を図-3にそれぞれ示す。なお、梁フランジに貼付したひずみゲージが降伏ひずみに達した時を部材降伏時（図-3中の◆）とした。

梁曲げ破壊先行型の両試験体は集成材種類によらず高い靱性能を發揮し、紡錘型の履歴性状を示した。

試験体WCSJ-LAでは、 $R=0.004\text{rad}$.で梁鉄骨フランジの引張降伏が確認された。 $R=0.01\text{rad}$.で接合部ウェブがせん断降伏し、剛性が低下した。正載荷側では $R=0.03\text{rad}$.で最大耐力435.0kN、負載荷側では $R=-0.027\text{rad}$.で最大耐力-425.5kNを記録した。その後も正載荷側・負載荷側ともに高い耐力を維持したまま最終変形角 $R=0.05\text{rad}$.に達した。最終変形角における耐力は419.5kNで、最大耐力の約96%である。

試験体WCSJ-CAでは、 $R=0.004\text{rad}$.で梁鉄骨フランジの引張降伏が確認された。 $R=0.01\text{rad}$.で接合部ウェブがせん断降伏し、剛性が低下した。正載荷側では $R=0.04\text{rad}$.で最大耐力439.5kN、負載荷側では $R=-0.04\text{rad}$.で最大耐力-442.5kNを記録した。その後も正載荷側・負載荷側ともに高い耐力を維持したまま最終変形角 $R=0.05\text{rad}$.に達した。最終変形角における耐力は419.3kNで、最大耐力の約95%である。

一方、接合部せん断破壊先行型の試験体については、試験体WCSJ-LBでは、 $R=0.005\text{rad}$.のサイクルにおいて梁鉄骨フランジの引張降伏および接合部ウェブのせん断降伏が確認され、続いて $R=0.01\text{rad}$.で接合部スチフナが引張降伏し、 $R=0.02\text{rad}$.で接合部フランジが引張降伏した。正載荷側では $R=0.015\text{rad}$.で最大耐力393.5kN、負載荷側では $R=-0.015\text{rad}$.で最大耐力-362.0kNを記録した。その後耐力が低下し、最終変形角における耐力は287.0kNで最大耐力の約73%となった。

試験体WCSJ-CBでは、 $R=0.005\text{rad}$.のサイクルで梁鉄骨フランジ、接合部スチフナが引張降伏し、接合部ウェブのせん断降伏が確認された。続いて $R=0.015\text{rad}$.で接合部フランジが引張降伏した。正載荷側では $R=0.015\text{rad}$.で最大耐力430.5kN、負載荷側では $R=-0.015\text{rad}$.で最大耐力-410.3kNを記録した。その後耐力が低下し、最終変形角における耐力は273.0kNで最大耐力の約63%となった。

以上のように、接合部せん断破壊先行型の両試験体はやや逆S字型の履歴ループを描き、梁曲げ破壊先行型の試験体と比較して耐力低下が大きくなる結果となった。また、耐力低下は低強度の集成材を用いた試験体WCSJ-

表-6 実験結果一覧

| 試験体 | | 部材降伏時 | | 最大耐力時 | |
|---------|---|-----------|---------|-------------|-----------|
| | | Ry (rad.) | Py (kN) | Rmax (rad.) | Pmax (kN) |
| WCSJ-LA | 正 | 0.004 | 221.0 | 0.030 | 435.0 |
| | 負 | -0.004 | -237.0 | -0.027 | -425.5 |
| WCSJ-CA | 正 | 0.004 | 225.8 | 0.040 | 439.5 |
| | 負 | -0.003 | -188.3 | -0.040 | -442.5 |
| WCSJ-LB | 正 | 0.004 | 237.0 | 0.015 | 393.5 |
| | 負 | -0.004 | -238.5 | -0.015 | -362.0 |
| WCSJ-CB | 正 | 0.003 | 213.8 | 0.015 | 430.5 |
| | 負 | -0.004 | -237.8 | -0.015 | -410.3 |

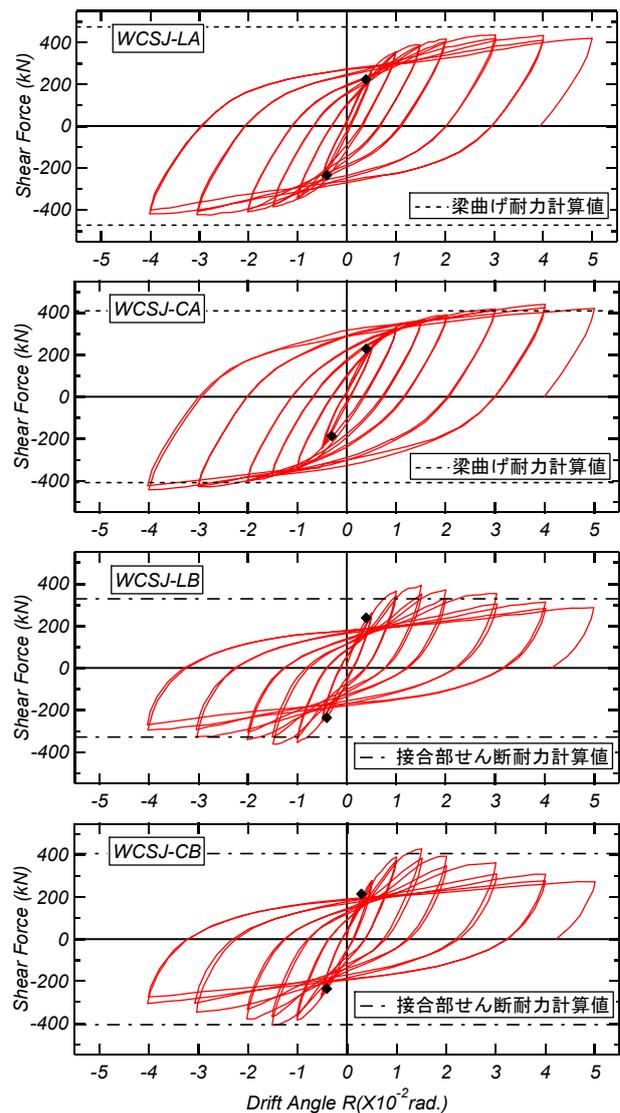


図-3 荷重－変形関係

CBの方が顕著であるが、この理由として、試験体WCSJ-LBの作用軸力は615kNであり、試験体WCSJ-CBの作用軸力は976kNと試験体WCSJ-LBより大きいことも原因の一つであると考えられる。

3.3 各部材の挙動

各試験体における柱、梁およびパネルゾーンの変形の推移を図-5に示す。各部材の変形は、図-4に示すように、内蔵鉄骨に取り付けた変位計より得られる変位 δ

$\delta_1 \sim \delta_{10}$ を用い、図中の式に従って各部材の変形角を算出した。なお、試験体 WCSJ-LB は計測器具の不具合により、 $R=0.015\text{rad}$.以降のデータの信頼性が低いと示していない。

梁の変形については梁曲げ破壊先行型の試験体がせん断破壊先行型試験体の変形よりも大きく、接合部の変形については、せん断破壊先行型試験体の変形が曲げ破壊先行型試験体の変形よりも大きい。また、柱の変形量は、他の部位の変形量よりも小さい値となっている（全変形の和に対して1~2割程度）。これらの結果は2.3節に示した接合部せん断余裕度の差異と整合するものである。

使用集成材が異なる試験体同士を比較すると、試験体 WCSJ-LA のパネルゾーンの変形は、 $R=0.015\text{rad}$.以降、試験体 WCSJ-CA より大きくなっていくことが確認できる。これは、コンクリートおよび集成材の材料強度が大きく異なるためと考えられ、表-5 に示したように両試

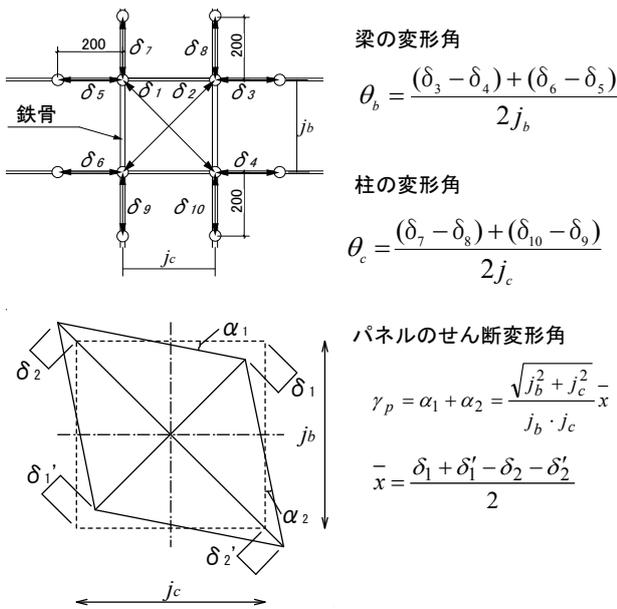


図-4 変形角の求め方

験体の接合部せん断余裕度の大小関係に一致している。

3.4 耐力評価

各試験体における接合部せん断余裕度と実験値と計算値との耐力比の関係を図-8に示す。各耐力の計算手法は2.3節の通りである。耐力比については、梁曲げ破壊先行型の試験体は実験値と梁終局曲げ耐力計算値の比で表し、接合部せん断破壊先行型の試験体は実験値と接合部終局せん断耐力計算値の比で表している。また、図-7に梁曲げ破壊先行型試験体における梁の各計算耐力をQ-N相関曲線上で比較したものを示す。図中の縦軸は圧縮軸力を正側とし、●は鉄骨の負担せん断力と軸力を示し、×は集成材の負担せん断力と軸力を示している。

梁曲げ破壊先行型の試験体の耐力比は、試験体 WCSJ-LA が0.92、試験体 WCSJ-CA が1.08と、各部材の耐力は概ね評価可能であるが、試験体 WCSJ-LA で実験値が計算値を下回った。これは、累加強度式では梁集成材の計算に繊維方向強度を用いているが、実験においては梁集成材が柱集成材にめり込むことで、梁集成材の応力は繊維直交方向強度あるいはめり込み強度程度に留まり、耐力が上昇しなかったことが、梁曲げ耐力を過大評価した原因であると考えられる（図-6参照）。また、集成材強度が低い試験体 WCSJ-CA の履歴面積が、試験体 WCSJ-LA の履歴面積より大きい理由としては、両試験体の梁集成材と梁内蔵鉄骨の負担応力に違いがあることが考えられる。すなわち、図-7に示すように、試験体 WCSJ-LA に

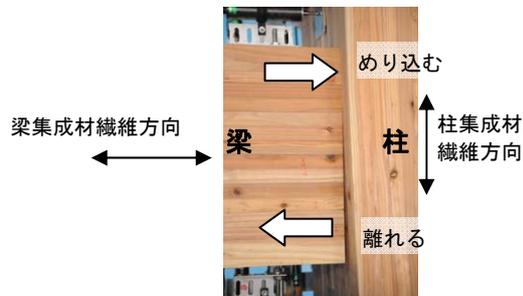


図-6 梁端部の挙動

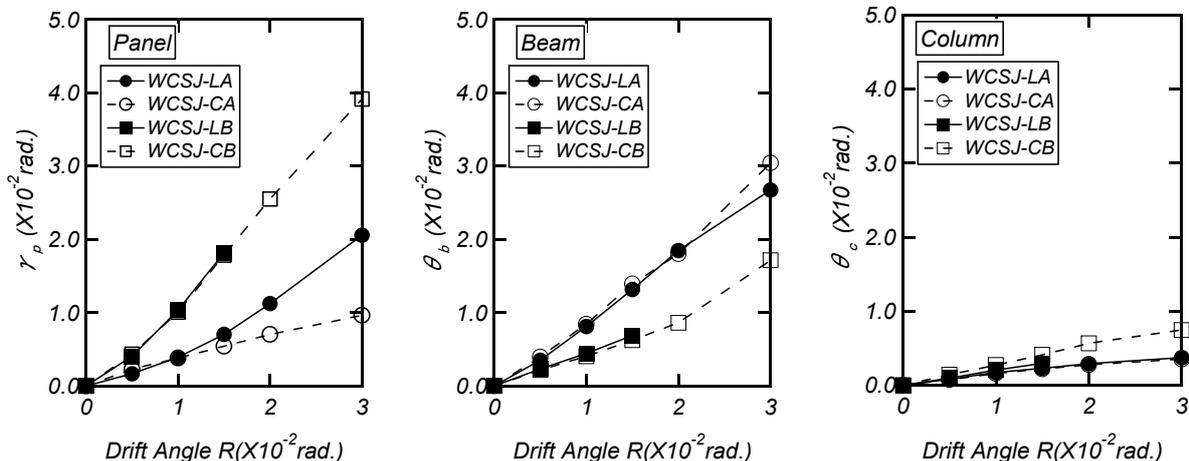


図-5 各部材の変形推移

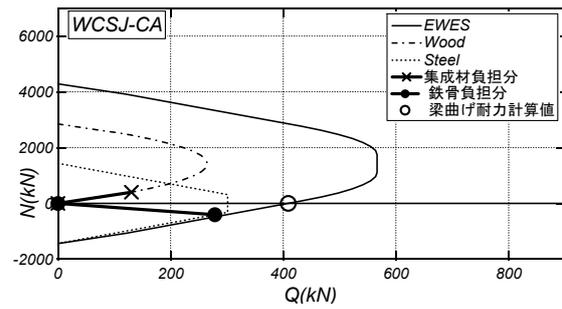
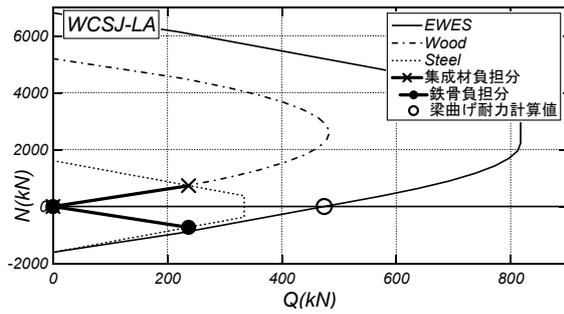


図-7 各試験体の EWES 梁 N-Q_e 曲線

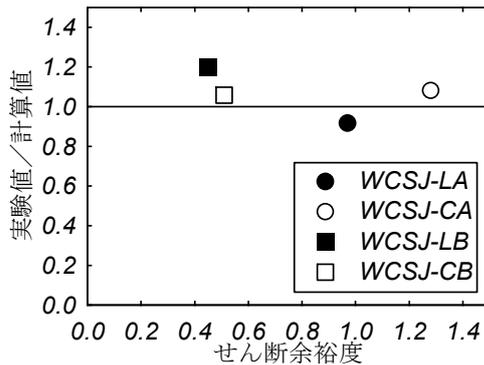


図-8 接合部せん断余裕度と耐力比の関係

における梁集成材と梁内蔵鉄骨のせん断力の負担分はほぼ同程度であるが、試験体WCSJ-CAではスギ集成材の繊維方向強度が低いため、梁集成材よりも梁内蔵鉄骨のせん断力負担割合が大きい。また、実現象としてスギ集成材のヤング係数が低いため負担応力が小さいことも考えられる。これらことから、試験体WCSJ-CAでは、安定した耐力発現が期待できる鉄骨のせん断力負担割合が大きいこと、試験体WCSJ-LAより履歴面積が大きくなったものと考えられる。

今後は集成材のめり込み強度やヤング係数などを考慮した性能評価手法について検討が必要である。

接合部せん断破壊先行型試験体の耐力比は試験体WCSJ-LBでは1.20、試験体WCSJ-CBでは1.06となっており、低強度の国産スギを用いた場合でも、各部材の耐力は概ね評価可能である。

4. まとめ

EWES 合成構造システムにおける内部柱梁接合部の構造特性を把握することを目的とし、実験変数を破壊モードおよび集成材の種類とした静的載荷実験を行い、その構造性能を検討した。

本研究において得られた知見を以下に要約する。

- 1) 梁曲げ破壊先行型の試験体では、集成材種類によらず高い靱性を発揮し、紡錘型の履歴性状を示した。
- 2) 接合部せん断破壊先行型の試験体は逆 S 字型の履歴ループを示した。また、低強度のスギ集成材を用いた試験体WCSJ-CBでは比較的強度の高いカラマツ集

成材を用いた試験体よりも耐力低下が若干大きくなる傾向が認められた。

- 3) 各試験体における各部材の変形挙動に若干違いが見られるが、コンクリート、内蔵鉄骨、集成材の強度の複合的な影響であることが確認された。
- 4) 低強度のスギ集成材を用いた場合でも、柱および梁の終局曲げ耐力に関しては一般化累加強度理論によって、パネルゾーンの終局せん断耐力は SRC 規準式によってそれぞれ概ね評価可能である。
- 5) 本研究で用いた梁端部と接合部との接合形式では、梁集成材の応力負担は繊維直交方向強度あるいはめり込み強度程度に留まっていると考えられ、計算耐力は過大評価となっている。今後は、めり込み強度などを考慮した梁集成材の計算方法について検討が必要である。

参考文献

- 1) Fauzan, H. Kuramoto, Y. Shibayama and T. Yamamoto: Structural Behavior of Engineering Wood Encased Concrete-Steel Composite Columns, コンクリート工学年次論文集 Vol. 26, No. 2, pp. 295-300, 2004 年 7 月
- 2) Fauzan, H. Kuramoto, T. Matsui and K-H. Kim; Seismic Behavior of Composite EWES Columns with Varying Shear-Span Ratios, コンクリート工学年次論文集 Vol. 28, No. 2, pp. 1357-1362, 2006 年 7 月
- 3) Fauzan, A. Takino, K. Shindo and H. Kuramoto: Load-Displacement Response Analysis for Composite EWES Columns, コンクリート工学年次論文集 Vol. 31, No. 2, pp.1237-1242, 2009 年 7 月
- 4) Fauzan, H. Kuramoto and T. Matsui: Seismic Behavior of Interior Beam-Column Joints for Composite EWES Structural Systems, 構造工学論文集 Vol.53B, pp.389-396, 2007 年 3 月
- 5) M. Kimreth, H. Kuramoto, Fauzan and T. Matsui: FEM Analysis of Interior Beam-Column Joints for Composite EWES Structural Systems, 第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会/日本建築学会 Paper No.25 (CD-ROM), 2007 年 11 月
- 6) 松井千秋: 建築合成構造, オーム社, 2004 年 10 月
- 7) 日本建築学会: 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2001 年