

## 木ダボおよび木ねじを用いたスギ厚板床構面の面内せん断試験<sup>\*1</sup>

中田 欣作

幅105mm、厚さ150mmのスギ製材品で作製した床フレームに、本実加工した厚さ40mm、幅105mmのスギ厚板を直径6mm、長さ90mmの木ねじで平打ちおよび斜め打ちした床構面の面内せん断試験を行った。スギ厚板は、裏面を溝加工し、そこにホワイトアッシュの幅20.9mm、厚さ20.9mmの木ダボを裏棧として埋め込むように挿入した。

桁行方向の試験体では、床フレームの床倍率相当値は0.1であるが、厚板に木ねじを平打ちすると床倍率相当値は0.9、さらに木ダボを挿入すると床倍率相当値は3.0に増大した。厚板に木ねじを斜め打ちした場合には、厚板床の変形成分である床の回転変形および水平移動が大きくなり、耐力は平打ちした場合の0.82倍に低下した。そこで、木ねじを梁以外に桁へも打ち込むことにより、これらの変形が小さくなり、耐力が1.18倍に増大した。

最終的な仕様は、木ねじを厚板のさね部分から梁に向けて打ち込み角度45度で斜め打ちし、桁には打ち込み角度30度で斜め打ちし、床面に木ねじが露出しない厚板床とした。厚板床の床倍率は、桁行方向で2.8、梁間方向で3.2となった。スギの板材を床仕上げ材として用いた床では、合板の床下地材あるいは火打ち梁と床根太が必要であるが、木ダボおよび木ねじを用いたスギ厚板床では、床倍率が高いため、これらを省略することができると思われる。

### 1. はじめに

木造住宅では、床小梁に根太をかけ、その上に床下地材として小幅板をくぎ打ちしていたが、床剛性が低く耐震性が不十分なため、床梁の隅角部に火打ち梁を用いてきた。現在は、床下地材として構造用合板をくぎ打ちすることにより床剛性を確保し、火打ち梁を省略することが一般的となっている。近年では、長期優良住宅などにおいて高い床剛性を必要とする場合には、いわゆる剛床が必要であり、厚物合板を梁に直張りする構法が急速に普及している<sup>1)</sup>。

スギの板材を床仕上げ材として用いる場合には、板材のみでは耐震性が低いため、合板の床下地材に板材をくぎ打ちする必要がある。しかし、合板は重量が重く、合板張りとし仕上げ板張りの2度の作業が必要なため、施工性が悪くなる。

そこで、スギ厚板を用いて、製材品のみで剛床とすることのできる床が必要であると考えた。スギ厚板のみを用いる場合には、構造躯体である厚板をそのまま意匠として露出させたあらし床とすることができる。あらし床としては、厚板の幅面にH型金物を挿入しせん断剛性を高める方法<sup>2)</sup>があり、床倍率は厚板床の1.2

倍に向上するが、剛床として使用するには耐震性が不十分である。また、合板の代わりにスギ3層集成パネルを用いる方法<sup>3,4)</sup>があるが、くぎを斜め打ちできるさね部分はパネルの端部のみであり、多くのくぎをパネル表面に平打ちするとくぎ頭が露出する。そこで、木ねじを頭部が木材に陥没するように打ち込んで穴埋めをする必要がある。

本研究では、各種試験で求めた木ダボ<sup>5)</sup> および木ねじ<sup>6)</sup>を用いるとともに、厚板のさね部分に木ねじを斜め打ちして床面に木ねじが露出しないスギ厚板床を作製した。そこで、これらの接合具が厚板床の面内せん断変形の減少に及ぼす影響について検討するとともに、厚板床の耐震性の向上に関する検討を行った。

### 2. 材料と方法

#### 2.1 供試材料

図1に厚板床試験体と構成部材を示す。供試材料には表1に示す製材品を用いた。桁、梁および小梁には図2に示す大入れ蟻掛け仕口を機械加工で行い、試験体A、B、C、DおよびF1~3では試験体G、試験体EおよびH1~3では試験体Iに示す床フレームに組み立てた。

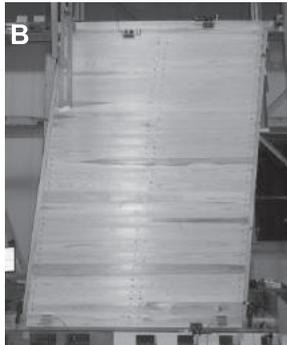
<sup>\*1</sup> 本研究の一部は、第64回日本木材学会大会（2014年3月、松山）、第65回日本木材学会大会（2015年3月、東京）、第66回日本木材学会大会（2016年3月、名古屋）および2014年度日本建築学会大会（2014年9月、近畿）において発表した。

厚板床の寸法は、幅1820mm×高さ2730mmとし、厚さ40mm、幅105mmのスギの本ざね厚板、ホワイトアッシュの長さ893~998mmの木ダボ、直径6mm、長さ90mmの木ねじを使用した。木ねじの仕様は、図3に示すように、全長、首下ねじ部およびねじ部長さがそれぞれ90、12および30mm、頭部、胴部およびねじ部直径がそれぞれ11.5、4.2および6.0mm、ねじピッチが2.8mm、頭部形状がリブ付き皿頭、先端が切り刃先である。厚板は桁行方向の横張りおよび梁間方向の縦張りとし、それ

ぞれ、長さ1820mmを26枚および長さ2730mmを18枚用いた。なお、試験体Eでは、厚板は長さ1820mmおよび910mmをそれぞれ18枚用いて千鳥配置とした。



厚板:桁行方向、木ダボ:9.5mm  
木ねじ:平打ち、梁桁打ち



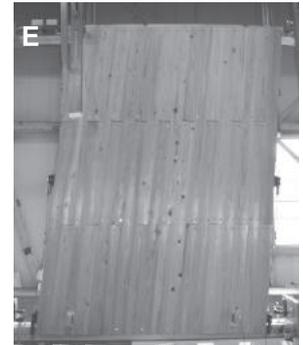
厚板:桁行方向、木ダボ:なし  
木ねじ:平打ち、梁打ち



厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:平打ち、梁打ち



厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁打ち



厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:平打ち、梁打ち



厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



厚板:桁行方向、木ダボ:なし  
木ねじ:なし



厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



厚板:梁間方向、木ダボ:なし  
木ねじ:なし

図1 厚板床試験体の構成部材と変形角1/10rad時の変形状態



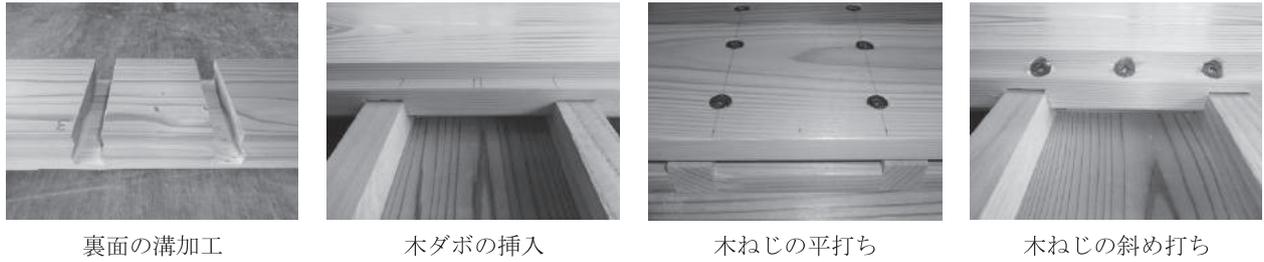


図5 スギ厚板床の作製

3では中央部の梁部分、試験体H1~3では中央部の小梁部分で各1本追加した。厚板の幅方向は、平打ちでは厚板内は50mm、厚板間は55mm間隔で厚板1枚に2本、斜め打ちでは厚板1枚の105mm毎に1本とした。また、試験体F1~3およびH1~3では、間隔150mm、打ち込み角度30度で、それぞれ桁および梁に斜め打ちした。試験体EおよびH1~3では、梁と小梁は(株)栗山百三製羽子板ボルト(ビス止め棟梁羽子板M12)を用いて接合した。

桁梁、厚板および木ダボの試験時の密度は0.45、0.40および0.74g/cm<sup>3</sup>、含水率は14.9、13.9および11.3%であった。

2.2 厚板床の面内せん断試験

図6に厚板床の面内せん断試験の方法を示す。厚板床の面内せん断試験は、標準的な試験方法<sup>7)</sup>に準拠して行った。厚板床の寸法は、幅1820mm、高さ2730mm、試験体の設置方法は柱脚固定式とし、固定桁の2ヶ所をボルトと座金で試験装置に固定した。梁は(株)栗山百三製ホールダウン金物KHDⅢ-30・35を用いて、加力桁および試験装置に固定した。

加力方法は正負交番繰り返し加力とし、見かけのせん断変形角が1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75およ

び1/50radの正負変形時において、それぞれ3回の繰り返し加力を行った後、圧縮方向の加力で破壊するものとした。なお、試験体B、F2、F3、G、H2、H3、およびIでの繰り返し加力は、1/30radまでの1回の繰り返し加力とした。荷重速度は30mm/minとした。表2に示すように、

表2 変位の測定項目

測定項目 <sup>a)</sup>	記号	数量	変位計 <sup>b)</sup>	精度(mm)
加力桁の水平方向変位	A	1	DP-1000CS	1/10
固定桁の水平方向変位	B	1	CDP-25	1/500
梁脚部の垂直方向変位	C	4	CDP-50	1/200
固定桁の垂直方向変位	D	2	CDP-50	1/200
厚板床と加力桁との垂直相対変位	E	2	CDP-100	1/100
厚板床と固定桁との垂直相対変位	F	2	CDP-100	1/100
厚板床と加力桁との水平(加力側梁との垂直)相対変位	G	1	CDP-50	1/200
厚板床と固定桁との水平(非加力側梁との垂直)相対変位	H	1	CDP-50	1/200
厚板相互の水平(垂直)相対変位	I	5	CDP-25	1/500

a) 括弧内は梁間方向の試験体

b) (株)東京測器研究所製ひずみゲージ式変位計

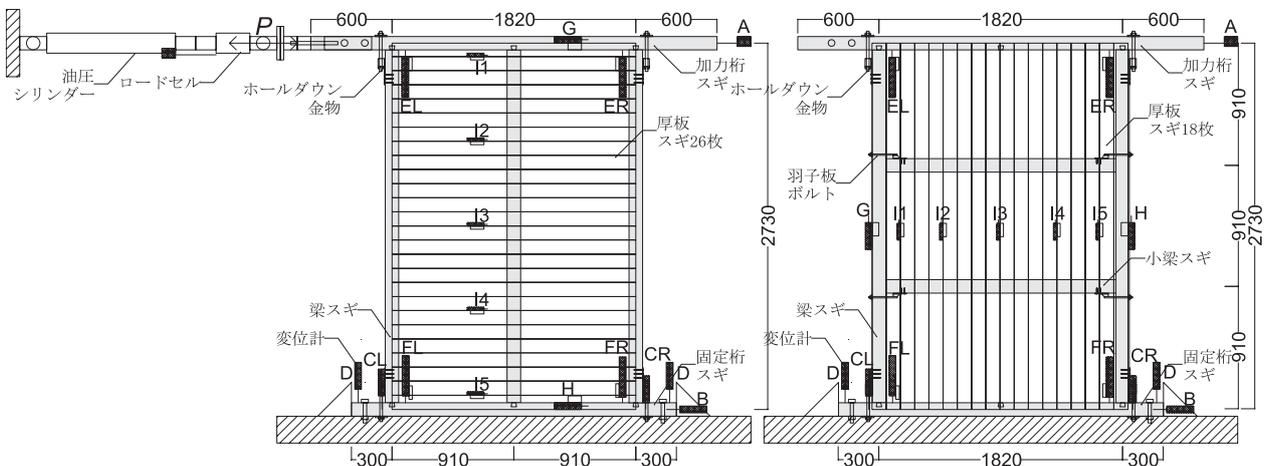


図6 厚板床の面内せん断試験の方法(単位mm)

注) 左: 桁行方向、右: 梁間方向、変位計Cは柱の前後に各2個。

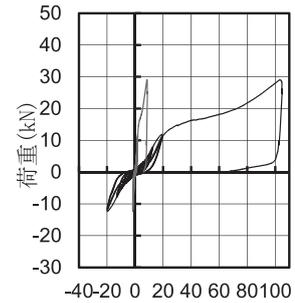
試験体の変位を測定した。荷重は精度1/100kNの(株)東京測器研究所製ロードセルTCLP-200KNBで測定した。以上の測定は(株)東京測器研究所製データロガーTDS-303を用いて1秒間隔の設定で行った。

見かけのせん断変形角  $\theta_1$  および梁脚部のせん断変形角  $\theta_2$  は式 (1) および (2) により求め、真のせん断変形角  $\theta_3$  は式 (3) により求めた。

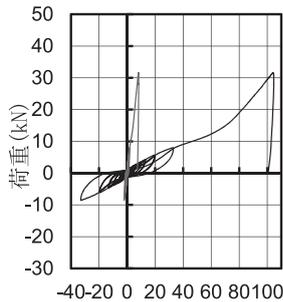
$$\theta_1 = \frac{\delta_A - \delta_B}{H} \quad (1)$$

$$\theta_2 = \frac{\delta_{CL} - \delta_{CR}}{W_C} \quad (2)$$

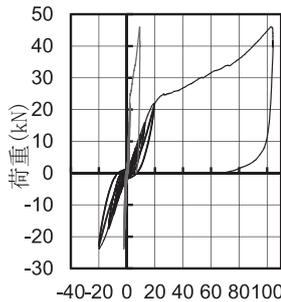
$$\theta_3 = \theta_1 - \theta_2 \quad (3)$$



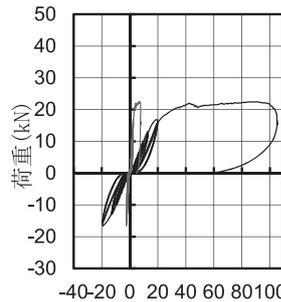
A 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:9.5mm  
 木ねじ:平打ち、梁桁打ち



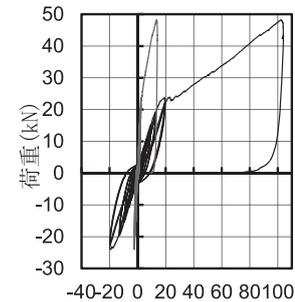
B 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:なし  
 木ねじ:平打ち、梁打ち



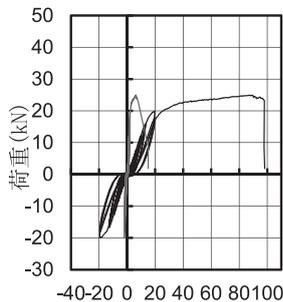
C 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:平打ち、梁打ち



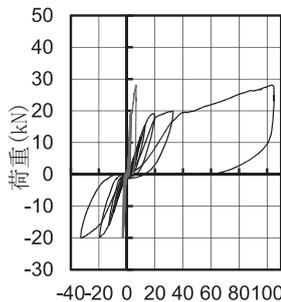
D 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁打ち



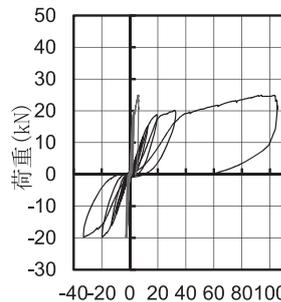
E 変形角(1/1000rad)  
 厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:平打ち、梁打ち



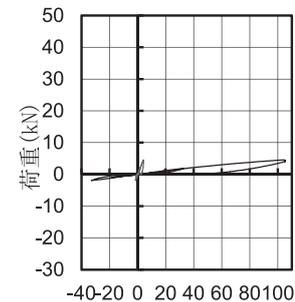
F1 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



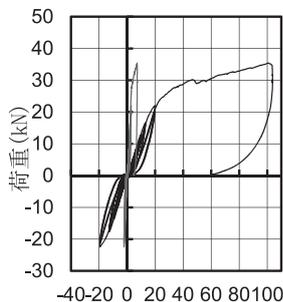
F2 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



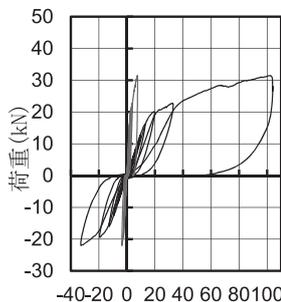
F3 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



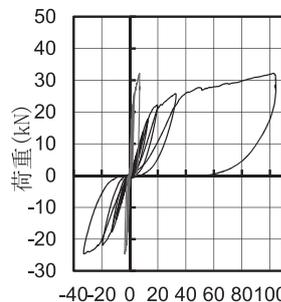
G 変形角(1/1000rad)  
 厚板:桁行方向、木ダボ:なし  
 木ねじ:なし



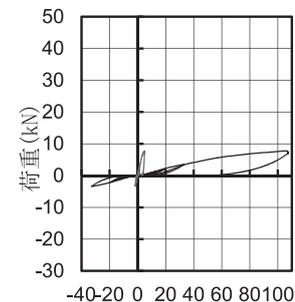
H1 変形角(1/1000rad)  
 厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



H2 変形角(1/1000rad)  
 厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



H3 変形角(1/1000rad)  
 厚板:梁間方向、木ダボ:21mm  
 木ねじ:斜め打ち、梁桁打ち



I 変形角(1/1000rad)  
 厚板:梁間方向、木ダボ:なし  
 木ねじ:なし

図7 厚板床の荷重-せん断変形角曲線

注) 一右:見かけのせん断変形角、一左:梁脚部のせん断変形角

ただし、 $\delta_A$ ：加力桁の水平方向変位、 $\delta_B$ ：固定桁の水平方向変位、 $\delta_C$ ：梁脚部の垂直方向変位、添え字：L：加力側、R：非加力側、H：試験体の高さ (=2730mm)、 $W_C$ ：変位計Cの間隔 (=1974mm)。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 厚板床の面内せん断試験の結果

図7に厚板床の面内せん断試験における荷重-せん断変形角曲線を示す。図8に試験終了時の試験体の状況を示す。

すべての試験体で、見かけの変形角が1/450~1/300rad時の繰り返し加力中に厚板相互がずれ始めた。試験体B、GおよびI以外の木ダボを用いた試験体では、変形角が1/50~1/30rad時の繰り返し加力中に厚板の端部が木ダボからのせん断力によりせん断破壊するとともに、厚板の長さ中央の2本の溝の間においてせん断破壊

した。木ダボは圧縮変形が生じたが、試験体A以外ではせん断破壊には至らなかった。木ねじを斜め打ちした試験体D、F1~3およびH1~3では、変形角が1/30rad以上になると木ねじが抜け出し始めた。その後、回転角が1/15rad以上において木ねじの抜け出しが進展したが、荷重は上昇を続けた。試験体H1~3では、非加力側上部の梁の木ねじ部分において厚板が割裂破壊した。試験体D、F1~3およびH1~3では、それぞれ非加力側梁および加力桁において木ねじの胴部とねじ部の境界で破断が生じた。一方、木ねじを平打ちした試験体A、B、CおよびEでは、木ねじの抜け出しおよび破断は認められなかった。なお、試験体F1では、ホールダウン金物の根元部で加力側梁材脚部が破損し、耐力が低下した。

表3に厚板床の強度特性を示す。PickPoint<sup>®</sup>を用いて荷重-変形角曲線の特徴点の抽出と完全弾塑性モデル化を行い、最大耐力 $P_{max}$ 、降伏耐力 $P_y$ 、終局耐力 $P_u$ 、初期剛性 $K$ 、塑性率 $\mu$ および構造特性係数 $D_s$ を求めた。また、

表3 厚板床の強度特性

全区間での計算結果

項目	単位	試験体												
		A	B	C	D	E	F1	F2	F3	G	H1	H2	H3	I
(1)降伏耐力 $P_y$	kN	13.4	<b>2.7</b>	22.7	14.1	22.7	17.7	18.3	17.7	2.1	22.7	18.7	20.8	4.3
(2) $0.2P_u/D_s$	kN	8.8	5.2	16.1	12.5	19.1	13.9	13.7	13.2	1.1	15.5	15.3	16.5	2.1
(3) $2/3P_{max}$	kN	19.3	21.1	30.8	15.0	32.2	16.6	18.7	16.6	3.0	23.6	21.0	21.5	5.2
(4)特定耐力 <sup>a)</sup> $P_{120}$	kN	<b>4.6</b>	<b>3.3</b>	<b>10.9</b>	<b>8.9</b>	<b>14.0</b>	<b>10.5</b>	<b>10.2</b>	<b>10.7</b>	<b>0.5</b>	<b>11.3</b>	<b>11.4</b>	<b>12.3</b>	<b>0.8</b>
最大耐力 $P_{max}$	kN	29.0	31.6	46.3	22.5	48.3	24.9	28.1	24.9	4.5	35.4	31.5	32.2	7.8
終局耐力 $P_u$	kN	20.7	25.6	33.8	21.2	35.4	23.0	22.6	21.8	3.9	31.8	26.8	28.0	7.1
初期剛性 $K$	1000kN/rad	0.55	0.25	1.08	0.98	1.39	1.17	1.12	1.08	0.05	1.04	1.17	1.29	0.10
塑性率 <sup>b)</sup> $\mu$		2.78	1.02	3.32	4.86	4.08	4.99	5.21	5.18	1.45	3.41	4.53	4.80	1.55
構造特性係数 <sup>c)</sup> $D_s$		0.47	0.98	0.42	0.34	0.37	0.33	0.33	0.33	0.73	0.41	0.35	0.34	0.69
降伏変形角 $\gamma_y$	1/1000rad	24.4	31.9	21.1	14.4	16.4	15.1	16.3	14.5	38.5	21.8	16.0	16.1	42.0
降伏点変形角 $\gamma_v$	1/1000rad	37.8	103.1	31.4	21.6	25.5	19.6	20.2	20.3	72.6	30.5	23.0	21.7	69.1
最大変形角 <sup>d)</sup> $\gamma_{max}$	1/1000rad	103.3	104.2	102.8	90.4	102.3	87.5	103.0	94.1	103.5	100.7	102.2	102.3	106.1
終局変形角 $\gamma_u$	1/1000rad	104.9	104.7	104.2	104.9	104.0	97.9	105.0	105.2	105.0	103.9	104.0	104.2	107.3
耐力の最小値 <sup>e)</sup>	kN	4.6	2.7	10.9	8.9	14.0	10.5	10.2	10.7	0.5	11.3	11.4	12.3	0.8
床倍率相当値		1.2	0.7	3.0	2.4	3.9	2.9	2.8	2.9	0.1	3.1	3.1	3.4	0.2

変形角 1/15rad での計算結果

項目	単位	試験体												
		A	B	C	D	E	F1	F2	F3	G	H1	H2	H3	I
(1)降伏耐力 $P_y$	kN	12.5	7.1	21.6	13.8	21.7	17.3	18.1	15.9	1.6	19.2	18.2	19.6	2.7
(2) $0.2P_u/D_s$	kN	6.3	<b>3.3</b>	12.0	9.7	<b>13.9</b>	11.1	10.3	<b>10.2</b>	0.7	12.4	<b>11.3</b>	12.7	1.4
(3) $2/3P_{max}$	kN	12.7	9.0	21.9	14.7	23.9	15.9	15.2	14.8	2.2	21.1	18.9	19.2	4.1
(4)特定耐力 <sup>a)</sup> $P_{120}$	kN	<b>4.6</b>	<b>3.3</b>	<b>10.9</b>	<b>8.9</b>	14.0	<b>10.5</b>	<b>10.2</b>	10.7	<b>0.5</b>	<b>11.3</b>	11.4	<b>12.3</b>	<b>0.8</b>
最大耐力 $P_{max}$	kN	19.1	14.0	32.8	22.0	35.9	23.9	22.9	22.2	3.3	31.7	28.4	28.8	6.2
終局耐力 $P_u$	kN	17.0	11.6	28.3	20.8	29.1	22.1	20.1	19.9	2.8	28.6	24.3	26.0	5.2
初期剛性 $K$	1000kN/rad	0.57	0.26	1.17	0.98	1.43	1.18	1.14	1.15	0.06	1.22	1.19	1.33	0.11
塑性率 <sup>b)</sup> $\mu$		2.23	1.52	2.76	3.15	3.27	3.57	3.77	3.84	1.42	2.84	3.26	3.41	1.15
構造特性係数 <sup>c)</sup> $D_s$		0.54	0.70	0.47	0.43	0.42	0.40	0.39	0.39	0.74	0.46	0.43	0.41	0.73
降伏変形角 $\gamma_y$	1/1000rad	22.0	26.7	18.4	14.1	15.2	14.7	15.9	13.8	28.0	15.7	15.3	14.8	24.0
降伏点変形角 $\gamma_v$	1/1000rad	30.0	43.8	24.2	21.2	20.4	18.7	17.7	17.4	46.9	23.5	20.5	19.5	46.1
最大変形角 <sup>d)</sup> $\gamma_{max}$	1/1000rad	66.7	66.7	66.7	42.8	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7
終局変形角 $\gamma_u$	1/1000rad	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7
耐力の最小値 <sup>e)</sup>	kN	4.6	3.3	10.9	8.9	13.9	10.5	10.2	10.2	0.5	11.3	11.3	12.3	0.8
床倍率相当値		1.2	0.9	3.0	2.4	3.8	2.9	2.8	2.8	0.1	3.1	3.1	3.4	0.2

a) 特定耐力：変形角が 1/120rad 時の耐力、b) 疎性率： $\gamma_u/\gamma_v$ 、c) 構造特性係数： $1/\sqrt{2\mu-1}$ 、d) 最大変形角：最大耐力時の変形角、e) 耐力の最小値：(1)~(4)の耐力の最小値、太字：(1)~(4)の耐力の最小値



厚板相互のずれ

厚板端部のせん断破壊

木ねじの引き抜け

床フレームの破損

図8 試験終了時の試験体の状況

注) 上段：桁行方向の試験体、下段：梁間方向の試験体

見かけのせん断変位角が1/120rad時の耐力（以下、特定耐力と記す。）は、荷重-変形角曲線より求めた。床倍率相当値は試験体1体の試験結果として式(4)により求めた。

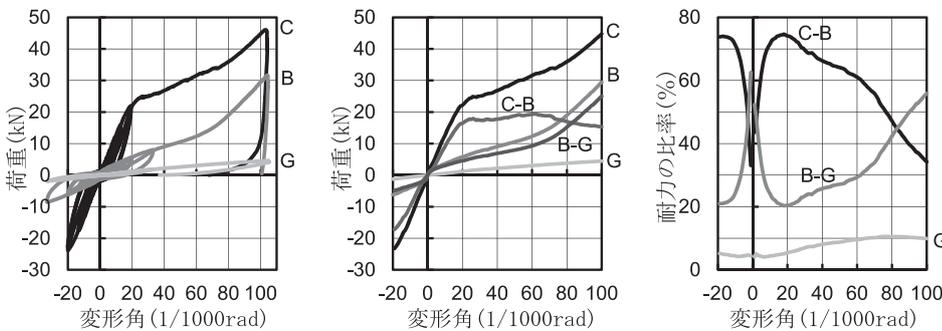
$$\text{床倍率相当値} = P_{\min} \times (1/1.96) \times (1/L) \quad (4)$$

ただし、 $P_{\min}$ ： $P_y$ 、 $0.2P_u/D_s$ 、 $2/3P_{\max}$ および $P_{120}$ の最小値 (kN)、1.96：床倍率=1を算定する数値 (kN/m)、 $L$ ：

床長さ (m) (=1.82m)。

ここで、算出された数値は、0.1毎に端数を切り捨てる。

本試験では変形角1/10radまでの試験を行っているが、一般的には変形角1/15radを終局変形角とし、それ以降の試験結果は考慮しない。表3には試験の全区間での計算結果と変形角1/15radでの計算結果を示した。変形角1/15radでの計算結果は、試験体B、E、F3および

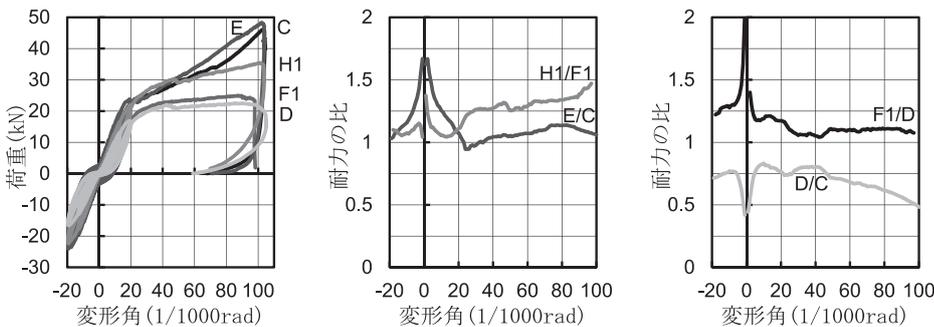


P<sub>120</sub> および床倍率の比較

種類	P <sub>120</sub> kN	床倍率
試験体 C	10.9	3.0
試験体 B	3.3	0.9
試験体 G	0.5	0.1
木ダボ部分 C-B	7.6	2.1
木ねじ部分 B-G	2.8	0.8
床フレーム G	0.5	0.1

図9 3種類の厚板床の荷重-せん断変形角曲線および包絡線の比較

注) B、CおよびG：図1参照、耐力の比率：試験体Cに対する比率



P<sub>120</sub> の比較

種類	記号	比率
梁間/桁行	H1/F1	1.08
"	E/C	1.28
木ねじ：斜/平	D/C	0.82
梁桁打ち/梁打ち	F1/D	1.18

図10 5種類の厚板床の荷重-せん断変形角曲線および包絡線の比較

注) C、D、E、F1およびH1：図1参照

H2で、 $0.2P_u/D_s$ が最小値となり、その他の試験体では $P_{120}$ が最小値となった。また、試験体Bでは $0.2P_u/D_s$ と $P_{120}$ は同一であった。

全区間での計算結果は、試験体Bでは $P_y$ が最小値となり、その他の試験体では $P_{120}$ が最小値となった。変形角 $1/15\text{rad}$ での計算結果で $0.2P_u/D_s$ が最小値となる場合があるのは、木ダボを用いた試験体では、全区間での計算結果と比較して $P_u$ が $0.82\sim 0.98$ 倍と低くなり、逆に $D_s$ が $1.12\sim 1.23$ 倍と高くなるためである。従って、本研究における木ダボおよび木ねじを用いた厚板床は $1/10\text{rad}$ 以上の変形能があり、特定耐力により床倍率が決定されると言える。

図9に試験体B、CおよびGの荷重-せん断変形角曲線および包絡線を示す。試験体Bは、床フレーム、桁行方向の厚板および平打ちした木ねじ、試験体Cは、床フレーム、桁行方向の厚板、 $20.9\text{mm}$ 角の木ダボおよび平打ちした木ねじ、試験体Gは、床フレームで構成されている。床フレームの床倍率相当値は $0.1$ であるが、厚板に木ねじを平打ちすると床倍率相当値は $0.9$ 、さらに木ダボを挿入すると床倍率相当値は $3.0$ に増大した。ここで、木ダボ部分の耐力は試験体Cと試験体Bの耐力の差C-B、木ねじ部分の耐力は試験体Bと試験体Gの耐力の差B-Gであると考えた。初期荷重では木ダボ部分の耐力C-Bが高く、その後木ねじ部分の耐力B-Gが高まった。特定耐力の比較では、木ダボ部分C-B、木ねじ部分B-Gおよび床フレームGの耐力は、床倍率相当値でそれぞれ $2.1$ 、 $0.8$ 、 $0.1$ であり、それぞれ試験体Cの平打ち厚板床の耐力の $70\%$ 、 $27\%$ および $3\%$ となった。

図10に試験体C、D、E、F1およびH1の荷重-せん断

変形角曲線および包絡線の比を示す。特定耐力の比較では、梁間方向の床は桁行方向の床の $1.08$  (H1/F1) および $1.28$ 倍 (E/C)、斜め打ちした床は平打ちした床の $0.82$ 倍 (D/C)、梁打ちに加えて桁打ちした床は梁打ちのみの床の $1.18$ 倍 (F1/D) となった。ただし、桁打ちの場合には厚板の中央部分で木ねじが1本追加されている。

表4に桁行方向および梁間方向試験体の床倍率の算出結果を示す。試験体F1~3およびH1~3を桁行方向および梁間方向の最終的な仕様として、表3に示した個々の試験体の強度特性を基にして、それぞれの床倍率を試験体3体の試験結果として式 (5) により求めた。変形角は $1/15\text{rad}$ までの結果とした。短期基準せん断耐力 $P_0$ は $P_y$ 、 $0.2P_u/D_s$ 、 $2/3P_{\max}$ および $P_{120}$ の平均値に、それぞればらつき係数を乗じて求めた $50\%$ 下限値の最小値とした。短期許容せん断耐力 $P_a$ は、考えられる耐力減の要因を評価する係数 $a$ を1として求めた。短期基準せん断耐力 $P_0$ は、桁行方向では $0.2P_u/D_s$ で決定し $10.27\text{kN}$ 、梁間方向では特定耐力で決定し $11.44\text{kN}$ となり、床倍率は桁行方向で $2.8$ 、梁間方向で $3.2$ となった。

$$\text{床倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L) \tag{5}$$

ただし、 $P_a$ : 短期許容せん断耐力 (kN) ( $= P_0 \times a$ )。

ここで、算出された数値は、 $0.1$ 毎に端数を切り捨てる。

### 3.2 厚板床の面内せん断変形における変形成分

図11および12に荷重と各部位の変位との関係を示す。厚板床の変形成分は、床の回転変形、厚板相互のずれ、床の水平移動および梁の浮き上がりと考えられる。床の回転変形を変位計ERによる厚板と加力桁との変位で見ると、荷重 $5.7\text{kN}$ 時の試験体B、荷重 $10\text{kN}$ 時の試験体C、D、E、F1およびH1の変位は、それぞれ $0.3$ 、 $0.2$ 、 $-0.7$ 、 $-0.1$ 、

表4 桁行方向および梁間方向の試験体の床倍率

桁行方向 (試験体 F1~3)

	平均値 (kN)	変動係数 CV	ばらつき係数	50%下限値 (kN)	$P_0$ (kN)	床倍率
(1)降伏耐力 $P_y$	17.1	0.065	0.969	16.57	10.27	2.8
(2) $0.2P_u/D_s$	10.5	0.047	0.978	10.27		
(3) $2/3P_{\max}$	15.3	0.036	0.983	15.04		
(4)特定耐力 $P_{120}$	10.5	0.024	0.989	10.38		

梁間方向 (試験体 H1~3)

	平均値 (kN)	変動係数 CV	ばらつき係数	50%下限値 (kN)	$P_0$ (kN)	床倍率
(1)降伏耐力 $P_y$	19.0	0.038	0.982	18.66	11.44	3.2
(2) $0.2P_u/D_s$	12.1	0.061	0.971	11.75		
(3) $2/3P_{\max}$	19.7	0.061	0.971	19.13		
(4)特定耐力 $P_{120}$	11.7	0.047	0.978	11.44		

-0.1および0.1mmであり、木ねじの平打ちでは桁行方向Cおよび梁間方向Eともに変位が少ないが、梁のみの斜め打ちDでは変位が大きくなり、梁および桁への斜め打ちでは桁行方向F1および梁間方向H1ともに変位が減少した。

床の水平移動を変位計Gによる厚板と加力桁あるいは加力側梁との変位で見ると、試験体B、C、D、E、F1およびH1の変位は、それぞれ0.6、1.1、1.9、0.4、0.1および0.1mmであり、梁のみの斜め打ちDでは、平打ちCおよびEよりも変位が大きくなったが、梁および桁への斜め打ちF1およびH1では、平打ちよりも変位が小さくなった。

厚板相互のずれを変位計I3による床の中央部での変位で見ると、試験体B、C、D、E、F1およびH1の変位は、それぞれ2.4、0.7、0.9、0.6、0.9および0.7mmであり、試験体Bでは変位が大きくなったが、その他の試験体での変位は小さく、かつ、同等であった。

梁の浮き上がりを変位計CLと変位計CRとの差で見ると、試験体B、C、D、E、F1およびH1の変位は、それぞれ2.1、2.1、2.9、1.6、2.3および2.8mmと同等であった。

変形角1/50rad以降の荷重では、床の回転変形は試験体DおよびF1で大きくなり、床の水平移動は試験体Dで多くなった。厚板相互のずれは試験体Bでは低い荷重から大きくなり、その他の試験体でも大きくなった。梁の

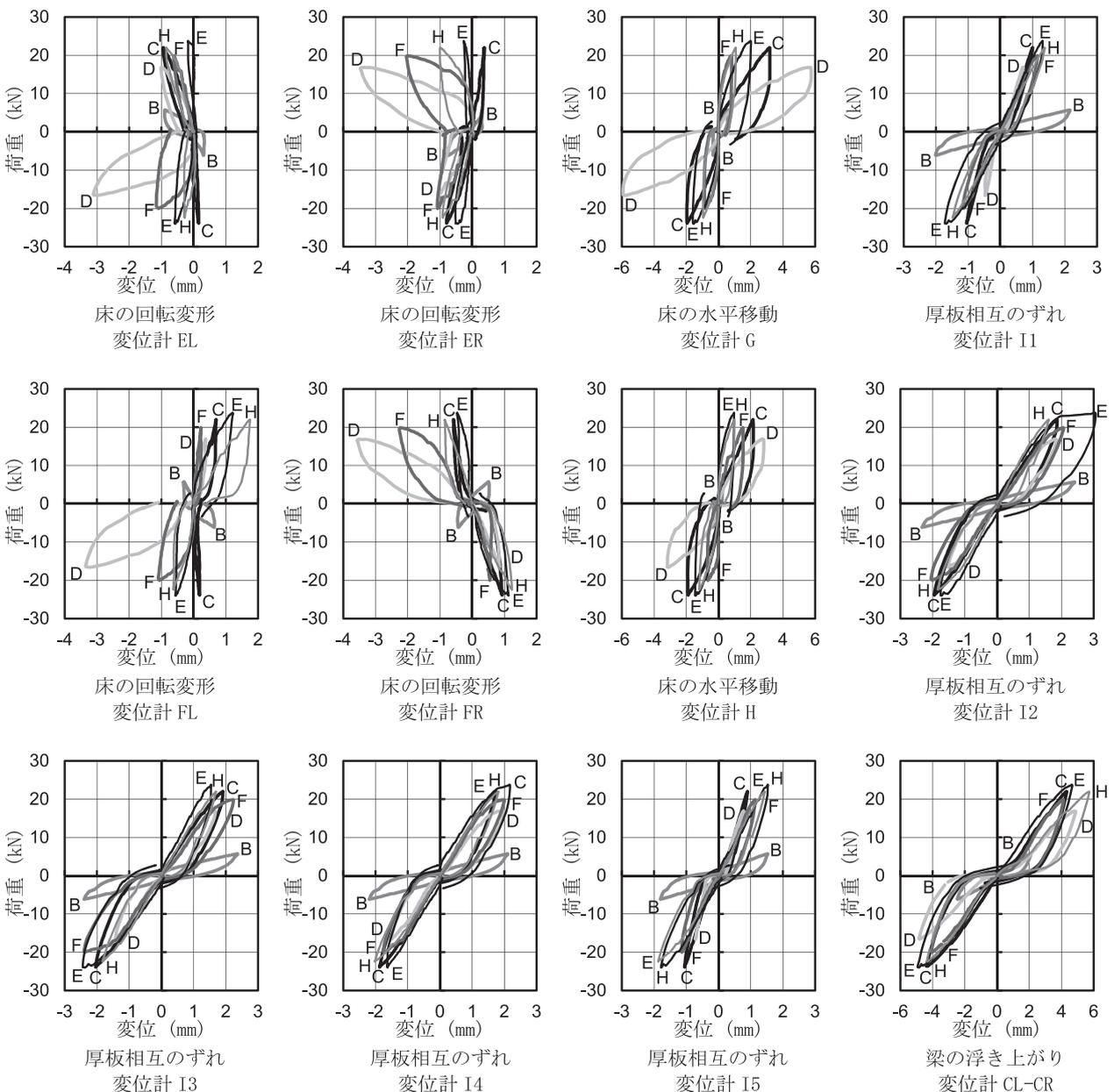


図11 荷重と各部位の変位との関係 (変形角1/50radまでの荷重)

注) B、C、D、E、F1およびH1: 図1参照、図中のFおよびHはそれぞれ試験体F1およびH1を示す、変位計は図6参照

浮き上がりはすべての試験体で大きくなった。

木ねじの1面せん断試験<sup>6)</sup>では、平打ち、角度45度の斜め打ちおよび角度30度の斜め打ちの変位1mm時の耐力は、それぞれ7.45、4.73および6.00kNであった。1面せん断試験での変位1mmは、本試験では厚板の幅は105mmであるので変形角1/105radに相当する。1面せん断試験での耐力は木ねじ4本での結果であり、試験体C、DおよびF1での厚板1枚当たりの木ねじの本数はそれぞれ8、4および角度45度が4本と角度30度が10本である。床の水平方向の耐力をこれらの条件から算出すると、それぞれ14.9、4.7および19.7kNとなり、床の水平移動の変

位から推察されるそれぞれの試験体の耐力と傾向が一致する。床の回転変形は、これらの個々の木ねじの剛性と床の回転中心からの距離の積の合計に起因するため、床の回転変形における桁への斜め打ちの効果は、床の水平移動における効果よりも小さくなると考えられる。

図13に面内せん断変形の変形成分の比率と見かけのせん断変形角との関係を示す。表5に変形角1/120rad時の変形成分の変形角と比率を示す。変形成分の比率は、それぞれの変形角を見かけのせん断変形角で除して求めた。

床の回転変形による変形角  $\theta_4$ 、厚板相互のずれによ

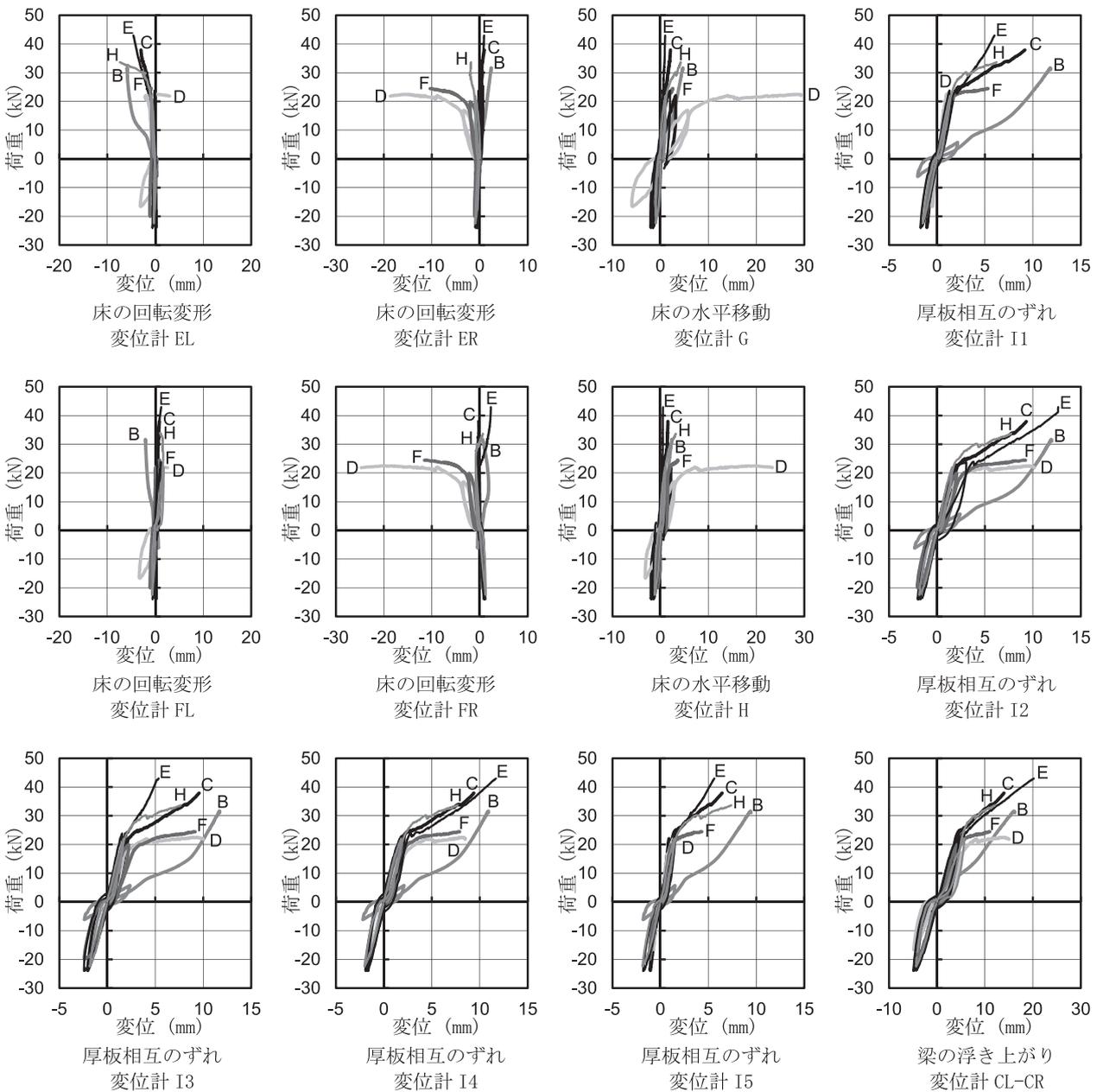


図12 荷重と各部位の変位との関係 (全区間の荷重)

注) B、C、D、E、F1およびH1：図1参照、図中のFおよびHはそれぞれ試験体F1およびH1を示す、変位計は図6参照

る変形角  $\theta_5$ 、床の水平移動による変形角  $\theta_6$ は式 (6) ~ (8) を用いて求めた。

正加力時

$$\theta_4 = \frac{W_E(\delta_{EL} - \delta_{FR}) + \frac{(L_x - W_E)}{2}(\delta_{EL} - \delta_{ER} + \delta_{FL} - \delta_{FR})}{W_E L_x}$$

負加力時

$$\theta_4 = \frac{W_E(\delta_{ER} - \delta_{FL}) + \frac{(L_x - W_E)}{2}(\delta_{ER} - \delta_{EL} + \delta_{FR} - \delta_{FL})}{W_E L_x}$$

(6)

桁行方向

$$\theta_5 = \sum_{i=1}^5 \delta_{li} \times \frac{25}{5 \times L_y}$$

梁間方向

$$\theta_5 = \sum_{i=1}^5 \delta_{li} \times \frac{1}{5 \times 105} \tag{7}$$

$$\theta_6 = \frac{\delta_G + \delta_H}{L_y} \tag{8}$$

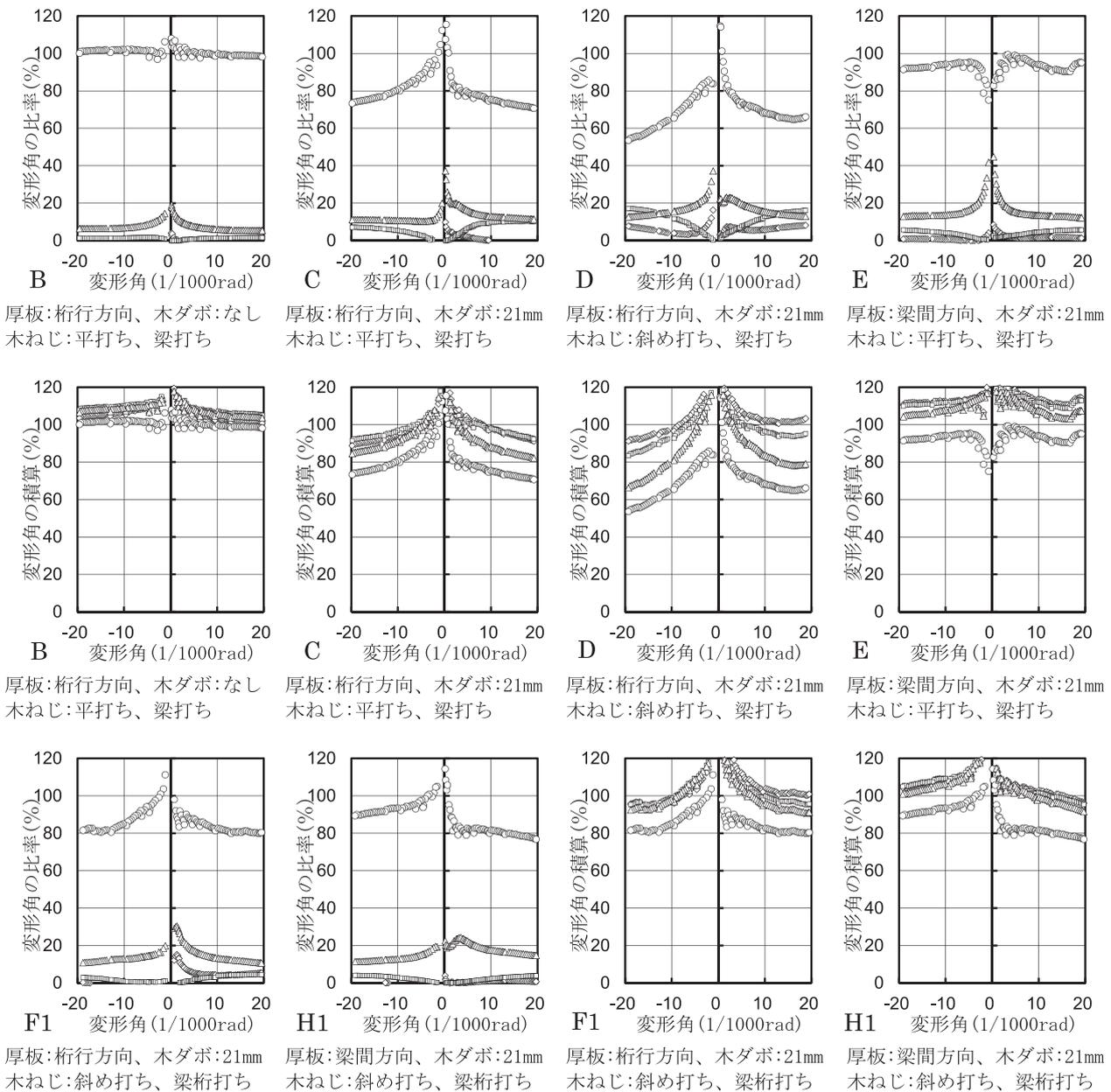


図13 変形成分の比率と見かけのせん断変形角との関係

注) ◇ : 床の回転変形、○ : 厚板相互のずれ、□ : 床の水平移動、△ : 梁の浮き上がり

表5 変形角1/120rad時の変位成分の変形角と比率

試験体	変形成分の変形角 ( $\times 10^{-3}$ rad)					変形成分の比率 (%)				
	回転変形	厚板	水平移動	梁	合計	回転変形	厚板	水平移動	梁	合計
B	-0.3	8.3	0.1	0.5	8.6	-3	100	1	6	104
C	0.0	6.5	0.8	1.1	8.4	0	77	9	13	100
D	0.5	5.8	0.9	1.4	8.6	6	71	11	17	104
E	0.1	7.8	0.3	1.1	9.4	1	95	4	14	115
F1	0.4	7.2	0.2	1.2	8.6	4	84	3	14	105
F2	0.4	6.8	0.1	1.5	8.9	5	81	2	18	105
F3	0.1	7.1	0.2	1.2	8.7	2	85	3	15	104
H1	0.1	6.9	0.2	1.6	8.7	1	82	2	19	103
H2	0.5	7.2	0.1	1.2	8.9	6	89	1	15	110
H3	0.4	7.5	0.1	1.0	9.0	4	90	2	11	107

B、C、D、E、F1、F2、F3、H1、H2 および H3：図1 参照、

ただし、右方向および上方向が正、 $\delta_E$ ：床と加力桁との垂直相対変位、 $\delta_F$ ：床と固定桁との垂直相対変位、 $\delta_G$ ：床と加力桁との水平相対変位、 $\delta_H$ ：床と固定桁との水平相対変位、 $\delta_I$ ：厚板相互の水平相対変位、添え字：L：左側、R：右側、 $L_x$ ：床の幅 (=1820mm)、 $L_y$ ：床の高さ (=2820mm)、 $W_E$ ：変位計Eの間隔 (=1587mm)。

試験体Bでは、厚板相互のずれによる変形角は、見かけの変形角の大部分を占めており、見かけの変形角が変化してもほぼ一定の値を示した。

試験体Cでは、試験体Bより厚板相互のずれによる変形角の比率が減少し、水平移動による変形角および梁脚部の変形角が増加した。これは、試験体Cでは木ダボにより一体化された床が水平移動するとともに、耐力が増加したことにより梁脚部の引き抜き力が増加したためである。

試験体Dでは、試験体Cよりも回転変形および水平移動による変形角の比率が増加するとともに、厚板相互のずれによる変形角の比率が減少した。これは、木ねじを斜め打ちすることにより平打ちよりも木ねじ接合部の剛性が低下したためである。

試験体F1では、試験体Dよりも回転変形および水平移動による変形角の比率が減少するとともに、厚板相互のずれによる変形角の比率が増加した。これは、木ねじを梁に加えて桁に斜め打ちしたことの効果である。

#### 4. まとめ

本実加工したスギ厚板の裏面に溝加工し、そこにアッシュの木ダボを裏棧として埋め込むように挿入し、スギ製材品で作製した床フレームにこれらのスギ厚板を木ねじで平打ちおよび斜め打ちした床構面の面内せん断試験を行った。

桁行方向の試験体では、床フレームの床倍率相当値は0.1であるが、厚板に木ねじを平打ちすると床倍率相当値は0.9、さらに木ダボを挿入すると床倍率相当値は3.0に増大した。

厚板に木ねじを斜め打ちした場合には、厚板床の変形成分である床の回転変形および水平移動が大きくなり、耐力は平打ちした場合の0.82倍に低下した。そこで、木ねじを梁以外に桁へも打ち込むことにより、これらの変形が小さくなり、耐力が1.18倍に増大した。

木ねじの斜め打ちにより床面に木ねじが露出しない厚板床とすることができ、その床倍率は、桁行方向で2.8、梁間方向で3.2となった。スギの板材を床仕上げ材として用いた床では、合板の床下地材あるいは火打ち梁と床根太が必要であるが、木ダボおよび木ねじを用いたスギ厚板床では、床倍率が高いため、これらを省略することができると思われる。

#### 引用文献

- 1) 吉川盛一, 相馬智明, 宋 昌錫, 稲山正弘, 安藤直人, 村上雅英, 後藤正美: 木造軸組工法における水平構面の面内せん断性状に関する研究. 日本建築学会構造工学論文集 55B, 179-187 (2009).
- 2) 南 宗和, 北森顕久, 鄭 基浩, 小松幸平: 杉厚板を用いた「あわらし床」における床構面性能: H型金物による面内剛性の向上. 日本建築学会構造系論文集 74 (644), 1785-1793 (2009).
- 3) 福本満夫, 富崎修平, 木下昌也, 今西 亨, 河本和義, 小原勝彦: 木質構造設計システムの構築に関する基礎的研究: その8 スギ三層クロスパネルを用いた水平構面の面内せん断試験: その1 研究目的及び試験概要. 日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ.

- 日本建築学会編. 富山, 2010-9, 日本建築学会. 2010, 447-448.
- 4) 富崎修平, 福本満夫, 木下昌也, 今西 亨, 河本和義, 小原勝彦: 木質構造設計システムの構築に関する基礎的研究: その9 スギ三層クロスパネルを用いた水平構面の面内せん断試験: その2 試験結果及び考察. 日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ. 日本建築学会編. 富山, 2010-9, 日本建築学会. 2010, 449-450.
- 5) 中田欣作: 各種木ダボによるスギ厚板の2面せん断性能. 奈良県森技セ研報. **43**, 23-33 (2014).
- 6) 中田欣作: 各種木ねじによるスギ厚板の1面せん断性能. 奈良県森技セ研報. **44**, 37-47 (2015).
- 7) 日本住宅・木材技術センター: “第6章 試験方法と評価方法”. 木造軸組工法住宅の許容応力度設計. 東京, 日本住宅・木材技術センター, 2008, 563-592.
- 8) 軽部正彦, 原田真樹, 林 知行: 荷重変形曲線のモデル化とその問題点共有のための提案: 特徴点抽出の自動化ツールについて. 日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ. 日本建築学会編. 東京, 2001-9, 日本建築学会. 2001, p.215-216.

(2016年 4月21日 受理)