

## 論文の内容の要旨

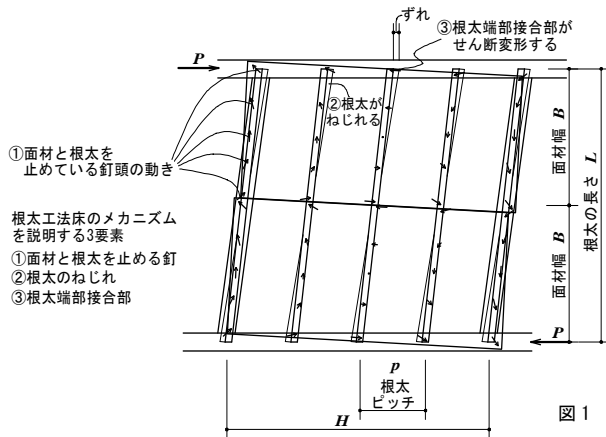
生物材料科学 専攻  
平成 19 年度 博士課程 進学  
氏 名 吉 川 盛 一  
指導教員名 稲 山 正 弘

論文題目 構造用合板および無機系面材を用いた木造軸組工法  
鉛直・水平構面に関する実験的研究

本研究での目的は、床水平構面における面内せん断性状の理論的把握と詳細設計法による算定式との確認、また床水平構面の力学的な意味、重要性を再提示し、再整理を行うこと、そして耐力補完などの有効性を考え、無接着・複合面材（構造用合板とケイカル板）による床水平構面を実用レベルでの活用を視野に入れ耐力・剛性を試験より検証、確認することである。

先ず、第 2 章に先立ち床水平構面の役割を示す。床構面は、水平力を鉛直構面である耐力壁へ伝達する役割を果たすことを目的とし、その部位は「床組」や「小屋組」となる。一般的に耐力壁が連続して面として構成された鉛直構面に対して、水平構面は梁（母屋・棟木）、そして根太（垂木）、床板面（野地板）や火打ち材により構成された 2 階床（屋根）にあたり、上階が負担する水平力を下階へ伝達する役割を担っている。しかし、近年の木造住宅においては床下地板に構造用合板を釘打ちする面内剛性の高い床の構法が用いられることから、火打ち梁ではなく構造用合板等の面材張り床面を水平構面として施工することが一般的となってきた。しかしながら、床構面にあっては根太仕様などの具体的な知見や試験データが少ないという現状があった。

そこで、試験からのデータ収集により試験値と詳細計算法による算定式との比較、検証を行い、面材張り床水平構面の剛性・耐力において、①面材釘を留める釘による剛性・耐力、そして②根太端部と梁との接合部による剛性・耐力、③水平構面全体での剛性・耐力について耐力算定式を用いて実験データより再確認を行うものとした(図 1)。



面材と根太を留める釘の剛性と耐力算定式

①面材と根太固定釘による変形角： $\theta_1$

$$\theta_1 = \frac{M}{K_0} = \frac{P \cdot L}{L \cdot H} \left( \frac{1}{I_{cy} \cdot k} + \frac{1}{G_B \cdot t} \right) = \frac{P}{H \cdot K_0}$$

②根太のねじりによる変形角： $\theta_2$

$$\theta_2 = \frac{\phi \times e}{L} = \frac{P \cdot p \cdot e^2 \cdot B}{G_{xx} \cdot I_{xx} \cdot H \cdot L}$$

③根太端部と梁面での変形角： $\theta_3$

$$\theta_3 = \frac{2\delta_j}{L} = \frac{2P \cdot p}{k_j \cdot L \cdot H}$$

図1 せん断力作用時の根太工法での床の抵抗メカニズム

第3章では、第2章で提案した詳細設計法の算定式の実施検証として、木造住宅の床水平構面の面内せん断試験を行った。床構面試験体は、(1)根太仕様として、①転ばし根太仕様、②半欠き根太仕様、③落とし込み根太仕様、(2)根太無し仕様(ネダレス)として、④厚物合板・四周打ち仕様、⑤厚物合板・川の字打ち仕様の計5種類について実施し、その試験結果から根太1本当たりにおける直交方向の変位と根太が負担する接合部のせん断力との $\Delta Q - \delta$ の関係や面材釘による荷重-変位： $P - \gamma$ の関係についての計算法との確認、解析を加えた。

また、接合部の剛性・耐力の発現機構について計算と実験結果の比較検証することを意図とし、さらには現在広く用いられている品確法上の床倍率の数値の妥当性などについても実験により確認することも目的として加えた。

これらの試験において新たに観察・確認された内容として、根太の挙動に対して根太に貼られた面材が抵抗することで、面材の回転に伴う左右逆方向の面材釘のせん断力が働く、当初は図2・左のように応力伝達を考えていたが、図3・右として修正した。試験での考察からも面材内に生じる応力が打ち消しあい根太端周辺以外では根太のねじれ変形は生じておらず、スパン両端部の根太と梁との接合部周辺において、根太のねじれ変形が顕著に生じている現象が確認できている。

試験結果では、詳細設計法の耐力・剛性はおおむね傾向をつかんでおり、計算法の妥当性が確認できた。また、すべての試験体について品確法における床倍率よりも試験結果はやや高く、現行の品確法における床倍率が安全側にあることが確認されている。

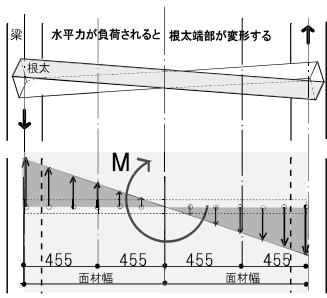


図2 根太が負担する面材の応力図

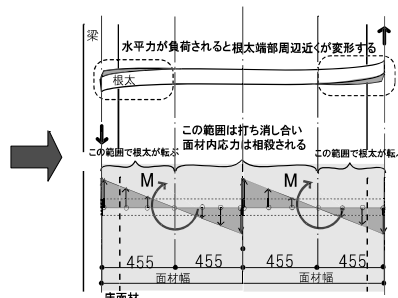
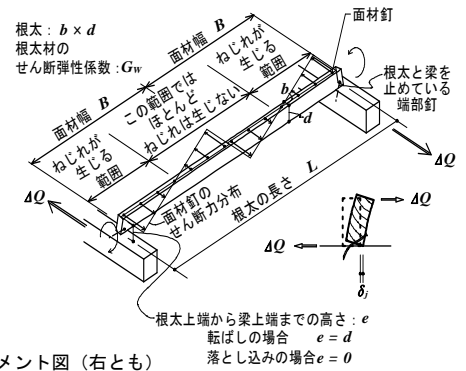


図3 根太1本が負担するねじりモーメント図(右とも)



根太： $b \times d$   
 根太材のせん断弾性係数： $G_w$   
 根太と梁を止めている端部釘  
 根太上端から梁上端までの高さ： $e$   
 転ばしの場合  $e = d$   
 落とし込みの場合  $e = 0$

第4章では、第3章での試験における観察状況を踏まえ、根太3種類におけるそれぞれの床耐力について接合部のせん断データ諸要値の抽出を行う。第2章での剛性・耐力算定式に用いるための根太と梁との接合部のせん断試験の諸要値データを得るため接合部における転ばし根太、半欠き根太直交方向加力、並びに屋根部の垂木接合部にて使用するための軸方向加力の要素試験を釘 N75 の本数を変化させて要素試験を実施した(図4)。ここでは最終的な接合部のせん断試験データ(表1)を取得するまでの要素試験における数回に及ぶ試行プロセスの概要を含みながら、結果としては予備試験となった試験内容も含めて概要説明として示した。試験結果は、根太・垂木とも釘2本より3本が剛性・耐力とに高くなるが、釘が2本から3本に増えてもその増加率は1.5倍より小さいことが判った。

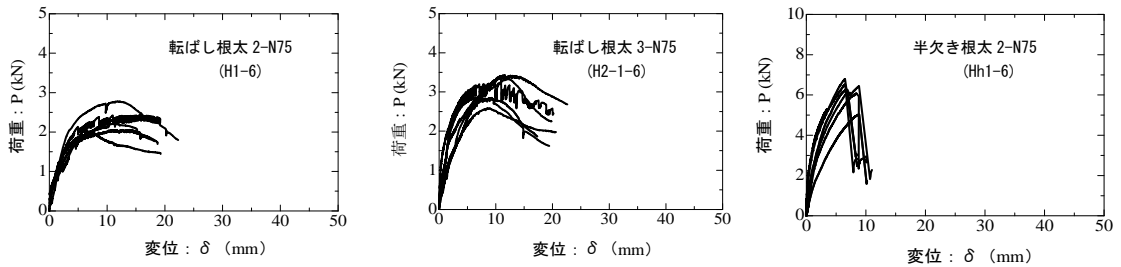


図4 根太軸方向加力要素試験の荷重—変位曲線(転ばし根太2-N75, 3-N75, 半欠き根太2-N75)

表1 完全弾塑性置換した接合部のせん断データ

根太(垂木)端部接合仕様	根太直交方向接合			根太軸方向接合		
	$k_f$ kN/cm	$\delta_{50}$ cm	$P_{50}$ kN	$k_a$ kN/cm	$\delta_{50}$ cm	$P_{50}$ kN
① 転ばし根太(垂木)を梁に2-N75 斜め釘止め	5.87	0.35	1.7	9.39	0.28	3.4
② 転ばし根太(垂木)を梁に3-N75 斜め釘止め	8.76	0.31	1.6	9.67	0.36	3.3
③ 根太を梁根太端に半分落し2-N75 斜め釘止め	18.8	0.28	0.74	—	—	—

【備考】表3, 4の試験結果である根太・垂木端部接合部試験データより、 $k_f$ ,  $\delta_{50}$ ,  $P_{50}$ の50%下限値の値を用い、剛性は、 $P_{50}/\delta_{50}$ として算出したものとしている。

第5章では、第2~4章での内容を用いて得られたデータから詳細設計法による剛性・耐力算定式を用いて実験値と理論値との検証、解析を示した(図5, 6)。ここでの要素試験結果で転ばし根太・半欠き根太の直交方向、軸方向における剛性ほかのせん断データから解析を行い、その結果、半欠き根太剛性において要素試験値が計算値より6割程高く、この剛性値は要素試験において面内せん断試験時の根太の変形状況が再現できておらず過大評価となっている可能性が高いことが判った。

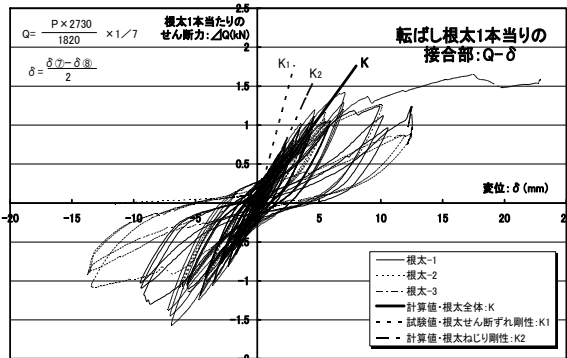


図5 転ばし根太1本当たりの $\Delta Q-\delta$ における剛性の関係  
—詳細計算法での試験値と計算値の解析

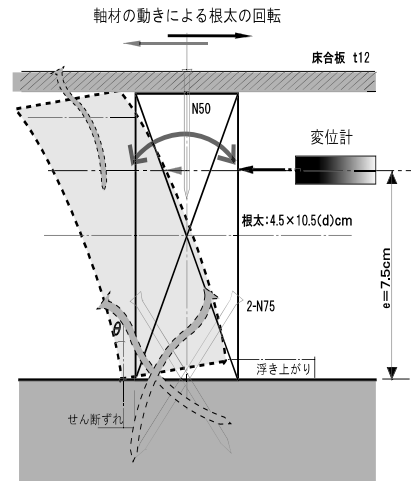


図6 転ばし根太の変形モデルと測定位置

第6章では、新たに提案した「無接着・複合面材」（構造用合板 t12+無機系面材：ケイカル板 t6 の重ね合わせ）の構造的適応について確認・検証するため、先行して複合構成する単材要素に加え、それらを複合化した面材の表・裏の組み合わせ試験体5種類の一面せん断試験を行い、ここで得られた荷重-変位曲線から面材釘1本のせん断データを算出した（表2）。また、接合具を釘とねじの2種選定して面内せん断試験（1P試験体）を実施して壁倍率として数値化した。また、ここでの試験結果を面材張りにおける詳細計算法を用いて、各部の剛性・耐力について計算結果と実験結果を比較検証して確認を行った（図7～9）。

その結果では、合板とケイカル板との無接着による重ね合わせは、面材間の重ね合わせによる耐力加算は成り立たないものの、重ね合わせの表・合板、裏・ケイカル板とすることで合板単体よりも靱性、耐力など向上させる効果があることが判った。また、無接着・複合面材において接合具周辺の破壊性状を考察し、N・PWCA（釘仕様、表：PW・合板厚12mm、裏：CA6・ケイカル板厚6mm）では耐力・変形量ともに安定している。またこの際、接合具が変形する際に無機材：CA6を圧壊してその粉体分が複層化されたCA6表面からPW裏を圧して凹形の跡がPW裏面に起こる現象があり、隅角部以外でCA6が接合具周辺で割れることなく接合具軸部でCA6材が圧壊し、粉体状態となることで面材層間どおしが面的に接触し、釘・ねじ接合部周辺で双方の面材間の耐力伝達をはたしていることなどが確認された。

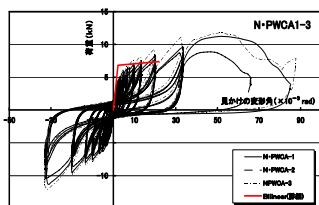


図7 複合面材・荷重変位曲線と計算法によるバイリニア直線



図8 複合面材の面内せん断試験（1P試験体）左：B・PWCA、右：B・CAPW

表2 複合面材における面材釘1本当たりのせん断データ諸要値

面材構成	K(kN/cm)	$\delta_v$ (cm)	$\delta_u$ (cm)	$\angle Pv$ (kN)	GB(kN/cm)
① N・CA6	8.50	0.09	0.85	0.74	50.0
② N・CAPW	15.3	0.05	1.42	0.79	41.6
③ N・PWCA	8.10	0.13	2.52	1.03	41.6
④ B・CAPW	18.2	0.17	1.36	1.41	53.2
⑤ B・PWCA	17.3	0.11	1.71	1.21	53.2

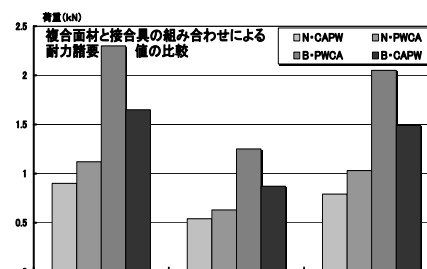


図9 複合面材と接合具の組み合わせによる耐力諸要素値の比較

第7章では、第6章までの結果をふまえて、第3章での床水平構面での面内せん断試験を構造用合板から「無接着・複合面材」に面材を置き換えて試験を実施した。試験体は従前同様として構造用合板の厚さ12mmとの数値比較を目的として転ばし根太、半欠き根太、落とし込み根太、厚物合板・四周打ちの4種類とし、複合面材厚さ根太仕様：18mm、厚物合板：34mm（構成：構造用合板12mmまたは厚物合板28mm+ケイカル板6mm）とした。その試験結果と先の一面せん断試験から得られた面材釘のせん断データを用いて、詳細計算法よりの計算値から検証を行った。品確法上の合板床構面の数値と比較したところ、複合化することにより床倍率数値において少なくとも2割程度高く、転ばし根太を除く3試験体

において向上するものの大ききは変わらないことが判った(図 12)。解析は、試験体の水平構面全体の荷重-変位  $P-\gamma$  (図 10) では転ばし根太は約 2 割の差異にて試験値が高いが、全体としてバイリニア直線は傾向を得ておりおおむね合致した。根太 1 本当たりにおける直交方向変位と根太が負担する接合部のせん断力： $\Delta Q-\delta$  の関係では 2 割程度の差異で合致し(図 13)、半欠き根太が計算値より 8 割程試験平均値より高い結果であった。これは前述 4 章での半欠き根太の要素試験データの過大評価に起因するものだと考えられる。また、面材釘による荷重-変位： $P-\gamma$  の関係についての結果では、全体的にばらつきがあるものの、厚物合板の終局耐力 6 割の試験値が高い内容を除けば、降伏耐力・終局耐力は 1 割程度の差異の範囲内にある(図 14)。 $\Delta Q-\delta$  同様、計算における値は面材釘のせん断データとせん断弾性係数： $G_B$  しか入力値は変化がないことから、一面せん断試験による特性値の数値が低いことが原因だと考えられる。

まとめ-詳細計算法はおおむね実験データと符合しておりその妥当性が確認された。本論文での再確認を要す知見に対し、いくつかの再試験が必要とされる結果を得た。実用化を視野に入れた床構面の無接着・複合面材においても転ばし根太以外では耐力向上を見ており実施への対応を進めたい。今後複合面材の構成材界面の応力伝達特性などについても研究を加えていきたい。

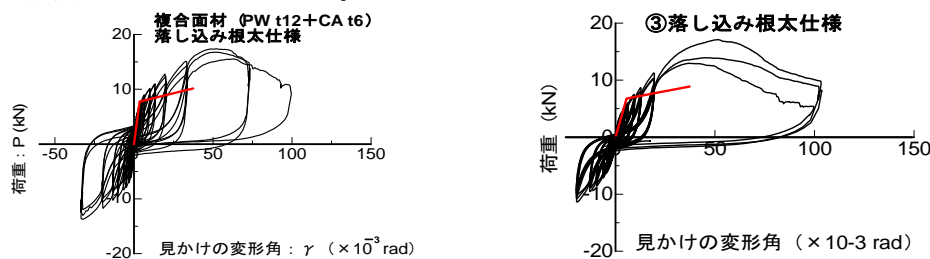


図 10 複合面材と構造用合板との荷重変位曲線と計算法・バイリニア直線

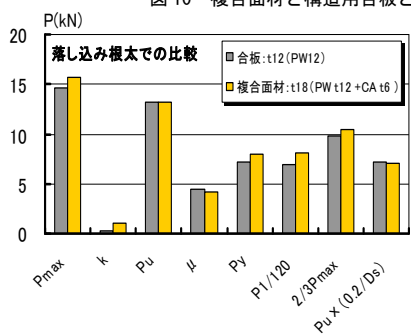


図 11 構造用合板と複合面材の試験結果 構造諸要値と床倍率との結果比較一覧

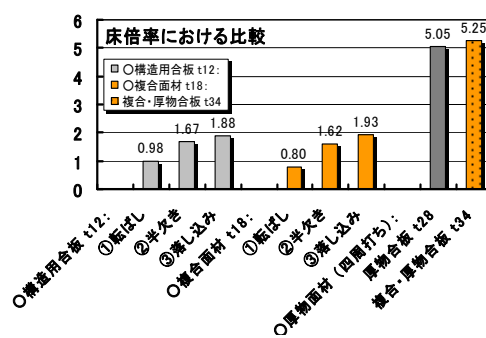


図 12 構造用合板と複合面材の床倍率結果比較

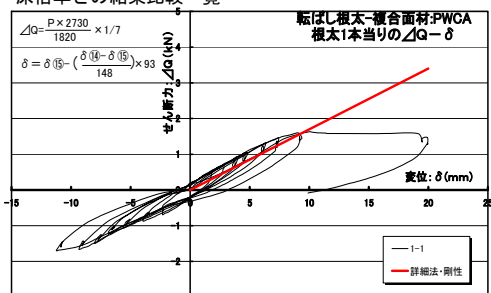


図 13 転ばし根太仕様-複合面材の  $\Delta Q-\delta$  における実験値と計算値の比較

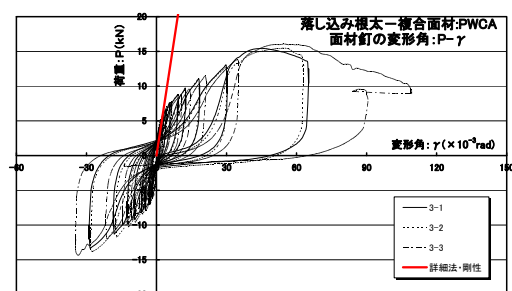


図 14 落とし込み根太仕様-複合面材の  $P-\gamma$  における実験値と計算値の比較